

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Zvyšování účinnosti krbových kamen pomocí tepelného výměníku

Increasing the Efficiency of the Stoves with a Heat Exchanger

Student:

Ondřej Humpolec

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph. D.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Humpolec**

Studijní program: **B2341 Strojírenství**

Studijní obor: **3907R009 Provoz energetických zařízení**

Téma: **Zvyšování účinnosti krbových kamen pomocí tepelného výměníku**
Increasing the Efficiency of the Stoves with a Heat Exchanger

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu tepelných výměníků na krbových kamnech.
2. Vyberte typ výměníku.
3. Proveďte stechiometrický výpočet spalin pro krbová kamna specifikovaných parametrů.
4. Navrhněte tvar krbových kamen a rozvodů energie.
5. Proveďte tepelný výpočet.

Seznam doporučené odborné literatury:

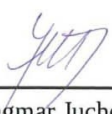
- [1] BLAHOŽ, Vladimír a Zdeněk KADLEC. Základy sdílení tepla. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1996, 109 s. ISBN 80-902-0011-7.
- [2] DLOUHÝ, Tomáš. Výpočty kotlů a spalínových výměníků. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 212 s. ISBN 80-010-2591-8.
- [3] KADRNOŽKA, Ladislav a Ladislav OCHRANA. Teplárenství. Brno: CERM, 2001, 178 s. ISBN 80-720-4222-X.
- [4] KADLEC, Zdeněk. Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009, 100 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-061-6.
- [5] PŘÍHODA, Miroslav; Miroslav RÉDR. Sdílení tepla a proudění. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 1998, 177 s. ISBN 80-707-8549-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

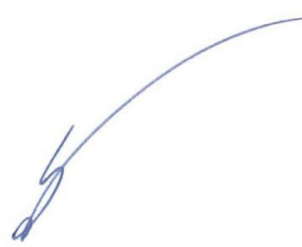
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013
Datum odevzdání: 19.05.2014





prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry

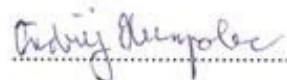


doc. Ing. Ivě Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh
vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl
jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5.2014

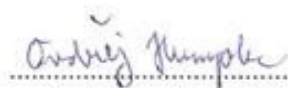


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домии, что Высшая школа ба́йская – Техни́ческая универси́та Остра́ва (да́ле же́н „VŠB-TUO“) ма́я пра́во невýдѣле́чнѣ к сво́ей внут́рннй потре́бѣ дипло́мовоу (бакала́рскоу) пра́ци у́жнть (§ 35 одст. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́една́но, что с VŠB-TUO, в прн́падѣ за́нму з же́й стра́н, узав́ру лнцен́ннй с́мло́уву с о́пра́внѣннм у́жнть днло в ро́зсáху § 12 одст. 4 ау́торско́го за́кона.
- bylo śednáno, že úжнть сво́е днло – дипло́мовоу (бакала́рскоу) пра́ци не́бо пос́кы́тнот лнцен́нн к же́йму ву́жнть мо́ху же́н се со́у́хласем VŠB-TUO, кте́ра́ же́ о́пра́внѣна́ в та́ковѣм прн́падѣ о́де мне́ по́žadovat прн́мѣ́ренý прн́спѣ́век на ú́hraду nákladů, кте́ре́ бу́лы VŠB-TUO на ву́тво́ренн днла ву́на́ло́же́ны (až do же́йч skutečné výše).
- беру на ве́домии, что о́де́вздáннм сво́е пра́це со́у́хласн́м се зве́ржнѣннм сво́е пра́це по́дле́ за́кона ч. 111/1998 Sb., о ву́со́кых́ шко́лах́ а о змѣ́нѣ́ а до́плнѣ́ннн да́лшн́х за́конů́ (за́кон о ву́со́кых́ шко́лах́), ve znění pozdě́jшн́х прѣ́dpńsů, без о́хле́ду на ву́сле́дек же́й об́ха́юбы.

V Ostravě : 19.5.2014



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ondřej Humpolec

Tichá

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Humpolec, O. *Zvyšování účinnosti krbových kamen pomocí tepelného výměníku: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 64s. Vedoucí práce: Kadlec, Z.

Práce je zaměřena na návrh horkovodního výměníku spaliny – voda do kouřovodu krbových kamen. Výměník je zapojen do otopné soustavy, která vytápí obytný prostor. Pro návrh jsem si zvolil výměník připojený na kouřovod. Při postupu výpočtů jsem použil výpočty ze stechiometrie a sdílení tepla. A pomocí nich jsem se dopracoval až výpočtu výkonu výměníků.

Humpolec, O. *Increasing the Efficiency of the Stoves with a Heat Exchanger., Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠTechnical Uninirsity of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy engineering, 2014, 64p. Thesis head Kadlec, Z.

The work focuses on the design of hot-water heat exchanger flue gas - water into flue gas ducting fire stove. The exchanger is wiring to a heating system that heats the living space. For the design I chosen exchanger connected to flue gas ducting. I used the calculations of stoichiometry and heat sharing in the processing of calculations. And by using them I attain up to calculate of performance heat exchangers.

Seznam použitých značek a symbolu

A	Popelovina v palivu	[1]
A_p	Součinitel absorpivity plamene	[1]
C	Uhlík v palivu	[1]
Gr	Grášofovo kritérium	[1]
H	Vodík v palivu	[1]
K_o	Opravný součinitel	[1]
L	Výška žebra	[m]
N	Dusík v palivu	[1]
Nu	Nusseltovo kritérium	[1]
O	Kyslík v palivu	[1]
Pr	Prantlovo kritérium	[1]
Q_{sal}	Výkon sáláním	[kJ]
Q_i	Výhřevnost paliv	[kJ/kg]
$Q_{vým}$	Výkon výměníku	[kW]
$Q_{vým,př}$	Předpokládaný výkon výměníku	[kW]
Q_{spalin}	Výkon spalin	[kW]
Q_{zbyt}	Výkon zbytkový	[kJ]
$Q_{žeb}$	Výkon žebra	[W]
Re	Reynoldsovo kritérium	[1]
S_{ts}	Velikost teplosměné plochy	[m ²]
S_{sk}	Plocha spalovací komory	[m ²]
$S_{žeb}$	Plocha žebra	[m ²]
T_{sp}	Teplota spalin v trubce	[°C]
T_n	Teplota za normálních podmínek	[°C]
U	Obvod žebra	[m]
V_{pal}	Objem paliva	[m ³]
$V_{O_2,s}$	Objem O ₂ skutečný	[m ³ _n /kg]
$V_{N_2,vz,s}$	Objem N ₂ ze vzduchu skutečný	[m ³ _n /kg]
$V_{N_2,p,s}$	Objem N ₂ z paliva skutečný	[m ³ _n /kg]
$V_{H_2O,t}$	Objem vodní páry teoretický	[m ³ _n /kg]
$V_{CO_2,vz,s}$	Objem CO ₂ ze vzduchu skutečný	[m ³ _n /kg]
$V_{CO_2,p,s}$	Objem CO ₂ z paliva skutečný	[m ³ _n /kg]
$V_{CO,s}$	Objem CO ₂ skutečný	[m ³ _n /kg]
$V_{Ar,vz,s}$	Objem Ar ze vzduchu skutečný	[m ³ _n /kg]
V_{vz,t^s}	Objem vzduchu teoretického suchého	[m ³ _n /kg]
V_{vz,s^v}	Objem vzduchu skutečného suchého	[m ³ _n /kg]
V_{vz,s^s}	Objem vzduchu skutečný suchý	[m ³ _n /kg]
V_{sp,t^v}	Objem spalin teoretický vlhký	[m ³ _n /kg]
V_{sp,t^s}	Objem spalin teoretických suchých	[m ³ _n /kg]
V_{sp,s^v}	Objem spalin skutečných vlhkých	[m ³ _n /kg]
W	Voda v palivu	[1]
\dot{V}_v	Objemový průtok vody skutečný	[m ³ /s]
$\dot{V}_{sp,s}$	Objemový průtok spalin skutečný	[m ³ /s]
C_{pi}	Střední měrná kapacita složek spalin	[kJ/(m ³ · K)]
C_{ppal}	Měrná tepelná kapacita paliva	[kJ/(kg · K)]
C_{psp}	Měrná tepelná kapacita spalin	[kJ/(m ³ · K)]
C_{pvody}	Měrná tepelná kapacita vody	[kJ/(m ³ · K)]
C_{pvz}	Měrná tepelná kapacita vzduchu	[kJ/(m ³ · K)]

d_h	Charakteristický rozměr	[m]
h	Hořlavina v palivu	[1]
i_{pal}	Entalpie paliva	[kJ/kg]
i_{spal}	Entalpie spalin	[kJ/kg]
i_{vz}	Entalpie vzduchu	[kJ/kg]
k	Součinitel prostupu tepla	[W/(m ² · K)]
l	Střední délka zářícího plamene	[m]
m	Konstanta žebra	[1]
\dot{m}_{pal}	Hmotnostní průtok paliva	[kg/s]
$\dot{m}_{\text{vým}}$	Hmotnostní průtok vody	[kg/s]
n	Přebytek vzduchu	[1]
n	Počet žeber	[1]
p_0	Tlak prostředí	[Pa]
p_i	Parciální tlak	[Pa]
q	Teplo sdělené stěnou	[W/m ²]
q_{rad}	Hustota tepelného toku radiací	[W/m ²]
t_p	teplota pláště	[°C]
t_{sp}	Teplota spalin	[°C]
t_{v1}	Vstupní teplota vody do výměníku	[°C]
t_{v2}	Výstupní teplota vody z výměníku	[°C]
v	Koeficient vlhkosti	[1]
w	Rychlost proudění	[m/s]
$\alpha_{\text{sp,celk}}$	Součinitel přestupu tepla celkový	[W/(m ² · K)]
$\alpha_{\text{sp,rad}}$	Součinitel přestupu tepla radiací	[W/(m ² · K)]
$\alpha_{\text{sp,kon}}$	Součinitel přestupu tepla konvencí	[W/(m ² · K)]
α_{vody}	Součinitel přestupu tepla vody	[W/(m ² · K)]
β	Korekční součinitel vlivu záření par	[1]
γ	Součinitel tepelné roztažnosti	[1]
σ	Stefan – Boltzanova konstanta	[1]
Δt	Rozdíl teplot	[°C]
Δt_{pal}	Rozdíl teplot paliva	[°C]
Δt_{sp}	Rozdíl teplot spalin	[°C]
Δt_{vz}	Rozdíl teplot vzduchu	[°C]
$\varepsilon_{\text{CO2,P1}}$	Emisivita CO ₂ pro teplotu plamene	[1]
$\varepsilon_{\text{CO2,Sp}}$	Emisivita CO ₂ pro teplotu spalin	[1]
$\varepsilon_{\text{H2O,P1}}$	Emisivita H ₂ O pro teplotu plamene	[1]
$\varepsilon_{\text{H2O,Sp}}$	Emisivita H ₂ O pro teplotu spalin	[1]
ε_l	Opravný součinitel	[1]
ε'_{pl}	Emisní součinitel	[1]
ε_{sp}	Emisivita zářících molekul spalin	[1]
θ_o	Teplotní rozdíl	[°C]
λ	Vlnová délka	[m]
u	Součinitel vlhkosti	[1]
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s]
ω_i	Koncentrace složek spalin	[1]

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	1
Obsah	3
Úvod	5
1.1 Vytápění obytných prostor	6
1.2 Tepelná pohoda člověka	7
2 Druhy vytápění	8
2.1 Horkovodní otopná soustava	8
2.2 Horkovodní otopná soustava	10
2.3 Horkovzdušná otopná soustava.....	11
2.4 Topení rekuperací	13
3 krby a kamna	14
3.1 Historie	14
3.2 Základní rozdělení krbu a krbových kamen	16
4 Výměníky.....	17
4.1 Rozdělení výměníků	18
5 Teplovodní výměníky používané v krbových kamnech	19
5.1 Instalace spalínového výměníku na krbovou vložku.....	21
5.2 Bezpečnostní zásady při použití teplovodního výměníku.....	22
5.3 Normy potřebné k bezpečnému provozu a zapojení výměníku	22
5.4 Důležité zásady	22
5.5 Další důležité části otopné soustavy	22
6 Doplnky ke krbovým vložkám zvyšující účinnost.....	24
7 Spalování	26
8 Stechiometrické výpočty	26
8.1 Nad stochiometrické objemy vzduchu a spalin	30
9 Návrh výměníku do kouřové cesty spalin – voda.....	35
9.1 Výpočet teploty spalin.....	36
9.2 Výpočet spotřeby paliva v kamnech	40
9.3 Součinitel přestupu tepla na straně spalin	42

9.4 Výpočet součinitele přestupu tepla na straně vody	49
10 Výpočet výměníku	53
Závěr.....	59
Seznam použité zdrojů	60
Poděkování	62
Seznam obrázků	63
Seznam příloh	64

Úvod

Důvod proč jsem si vybral práci na téma zvyšování účinnosti krbových kamen pomocí tepelného výměníku. Je že mě práce hned zaujala. Protože krbová kamna a jejich účinnost a problematika se týkají široké veřejnosti, jak laické, tak i technický specializované. Při problematice volby zdroje vytápění a ohřevu užitkové teplé vody může má práce pomoci. V práci se zabývám návrhem spalínového teplovodního výměníku spaliny – voda umístěného do spalínové cesty. U mnou zvolené konstrukce se počítá z jednoduchostí a s toho plynoucí možnosti si takový výměník vyrobit doma. A tím ušetřit nemalé pořizovací náklady. Ale hlavní výhodou je zvýšení účinnosti kamen, která se kladně projeví hlavně ekonomicky.

Čtenáři nejprve představím možnosti vytápění obytných prostor, a co při vytápění hraje roli. Že jsou pojmy jako tepelná pohoda člověka, které mají vliv na vnímání prostoru. Poté se dostanu k popisu druhů vytápění, kde jednotlivé druhy popíši. Při popisu se dostanu ke krbovým kamnům a jejich historii. Od kamen se dostanu k popisu výměníků a jejich jednotlivým typům. Při vlastním návrhu budu postupovat podle základních rovnic ze stechiometrie kde výpočtu teplotu a množství spalin ve spalovací komoře. Při výpočtech ze sdílení tepla ve vlastním tělese výměníku, budu postupovat od přestupu tepla na straně spalin a poté na straně vody, k výpočtu výkonu žebra. Až budou všechny tyto výpočty hotovy tak použiji klasický výpočet pro souprůdý výměník a dopočítám výkon výměníku. Tento výkon odečtu od výkonu spalin tak abych zjistil teplotu na výstupu z výměníku. A potom pro kontrolu udělám výpočet výkonu spalin o pokles teploty kterou odevzdají výměníku a provedu kontrolu těchto dvou výkonů, které by se měli rovnat.

1.1 Vytápění obytných prostor

Od jak živa co si člověk staví obydí tak klade důraz na regulaci teploty uvnitř. Hlavně se jedná o vytápění v zimních měsících. Technika vytápění se od počátků vyvíjela až k dnešním moderním technologiím způsobu vytápění.

Při stavbě nebo rekonstrukci rodinného domu, je třeba se správně rozhodnout, jaký způsob vytápění se rozhodneme. Tato volba bude mít zásadní vliv na obytný prostor a jeho pohodu. Správná volba ovlivní kvalitu a ekonomickou stránku našeho budoucího života na dlouhý čas, a je třeba tomu věnovat patřičnou pozornost. Volbu zdroje tepla je třeba si pořádně promyslet. Zdroj tepla by měl být především efektivní při výrobě tepla a spolehlivý a také levný a měl by být taky co nejméně náročný na obsluhu. Neméně důležitá je také volba paliva, které bude zdroj používat. Při pořizování zdroje je třeba také vědět, jak velký prostor chceme vytápět, tak abychom nepořídili malý nebo zbytečně velký zdroj. Z důvodu že zdroje fungují nej-ekonomičtěji, když pracují na jmenovitý výkon. Další aspekt je úspora energie, na kterou klade důraz hlavně evropská unie. Toto vede k zateplení celého domu a celé jeho zatěsnění tak aby nedocházelo k uniku energie. Ale je také třeba myslet na to, že v domě musí také cirkulovat vzduch tak aby byl dům obyvatelný, a netvořili se v něm plísňe. Což znamená že, musíme zvolit správný kompromis mezi nízkou ztrátou energie a dostatečnou cirkulací vzduchu tak aby náklady na vytápění byli co nejnižší. Tak aby byl dům nízkoenergetický.

Základní rozdělení vytápění:

- Místní vytápění - zdroj vytápění se nachází ve vytápěném prostoru
- Ústřední vytápění – zdroj tepla je mimo vytápěný prostor
- Dálkové vytápění – zdroj vytápění je umístěn mimo vytápěnou budovu
- Etapové vytápění – zdroj tepla se nachází na stejné úrovni jako vytápěný prostor (myšleno stejné podlaží)

Podle zdroje tepla:

- Elektřina
- Fosilní paliva
- Biomasa
- Dálkový zdroj tepla (voda, pára)

1.2 Tepelná pohoda člověka

Tepelná pohoda člověka je fyzický pocit, který souvisí s teplotou prostředí. Je to stav kdy nepociťujeme ani pocit chladu a ani nadměrného tepla. Je známo, že tepelná pohoda má zásadní vliv na míru odpočinku, vyšší než míra hluku a emise. A proto je třeba tomuhle parametru věnovat dostatečnou pozornost, tak abychom vybrali správný a dostatečný zdroj tepla. Také je třeba brát ohled na věk a zdravotní stav ostatních člena rodiny. Hodnoty teplot, vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu se řídí jednotlivými normami.

Faktory ovlivňující tepelnou pohodu člověka jsou subjektivní a objektivní. Subjektivní faktory jsou dány stářím, pohlavím, hmotností, zdravotním stavem a schopnost adaptace. Objektivní faktory jsou teplota vzduchu v pokoji a teplota okolních předmětů jako jsou okna, stěny, spotřebiče, proudění a vlhkost okolního vzduchu. Jednotlivé činitele subjektivních pocitů nás ovlivňují trochu jinak. A objektivní jsou dány všem stejně, ale dají se ovlivnit třeba druhem oblečení, které máme na sobě a aktivitou, kterou vykonáváme. [1]

2 Druhy vytápění

V dnešní době máme na výběr z velkého množství možných variant vytápění. A není vůbec jednoduché si vybrat, jelikož je velké množství druhů a pod druhů typů vytápění. To nám přináší možnost si vybrat, to co nám nejvíce vyhovuje. Sice moje práce se zabývá kamny a jejich výměníky, ale podle mě je dobře, se tímto aspoň trochu seznámit.

Rozdělení podle nosného media:

- Horkovodní otopná soustava
- Horkovzdušná otopná soustava
- Infračervené vytápění

2.1 Horkovodní otopná soustava

Rozdělení otopných soustav podle typů:

- Do 60°C
- Do 110°C
- Nad 110°C

Jedno trubkové:

- S obtokem těles
- Bez obtoku těles

Dvou trubkové:

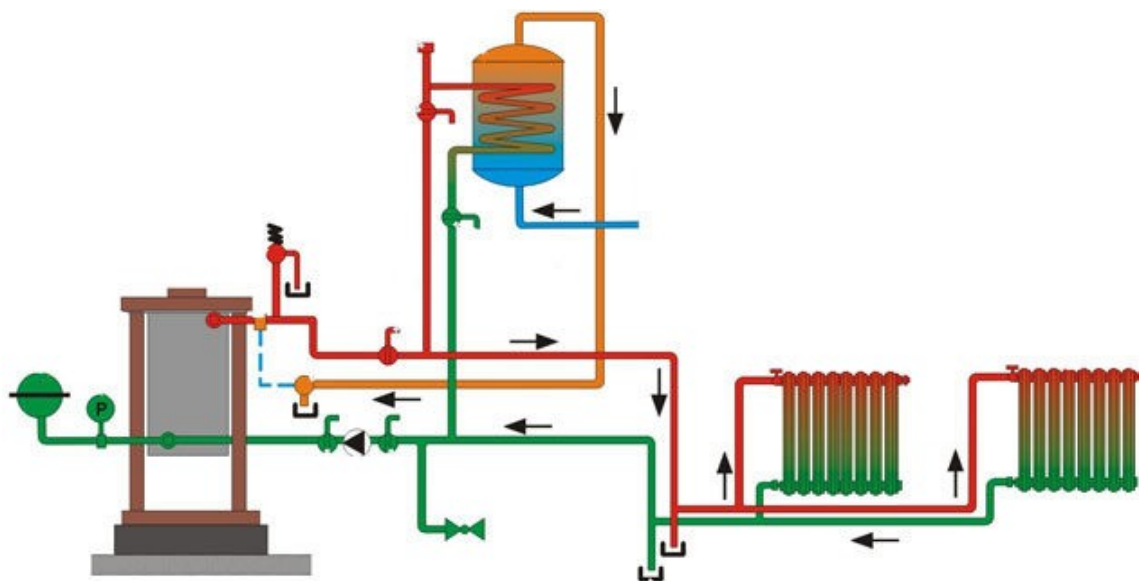
- Protiproudé

Souproudé:

- Horizontální
- Vertikální

Podle konstrukce expanzní nádoby:

- Soustava otevřená: expanzní nádoba otevřená, pro teploty do 90°C
- Soustava uzavřená: expanzní nádoba uzavřená, pro teploty do 110°C



Obrázek číslo: 2.1 otopná soustava [15]

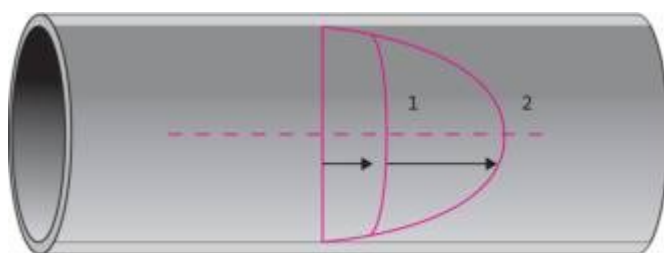
2.2 Horkovodní otopná soustava

Tepluvodní vytápění je nejznámějším systémem používaným pro vytápění. Jsou používány dva druhy soustav, z nuceným oběhem nebo také z přirozeným oběhem. Kdysi bylo, velmi hojně používána soustava s přirozeným oběhem. Tento oběh fungoval pomocí rozdílných tlaku, teplá voda stoupa vzhůru a tím vytlačuje studenou vodu z radiátorů zpět do kotle. Tento typ už se v dnešní době moc nepoužívá, protože je náročný na údržbu a také potřebuje trubky s velkým průměrem, aby mohlo docházet k cirkulaci. Dnes je nejpoužívanějším typem s nucenou cirkulací pomocí vodního čerpadla. Pokud oběžné čerpadlo přestane pracovat hrozí havárie otopné soustavy. Propálení některých částí soustavy nebo její nevratné poškození. Nevýhodou vodních otopných soustav je dlouhá doba ohřevu teplotnosného media. Ale také má výhody, že medium dobře akumuluje teplo, které poté předává prostředí po dlouhou dobu po ukončení vytápění. Také podstatnou výhodou je velmi snadná regulace teploty. Horkovodní soustava je nejčastěji používána s teplotami 70 – 90°C. U tohoto typu platí vyšší vstupní náklady a také potřeba velkého množství vody. Teplá voda se dá použít do radiátorů, do podlahového vytápění, nebo do vytápění stěn. A snadně lze do soustavy zapojit další topná tělesa, ne jen kotel lze použít i jiné zdroje jako např.: tepelná čerpadla a solární zdroj. A systém je také bezhlučný.

Materiály používané na topné soustavy jsou ocelová potrubí, tyto potrubí jsou levná dobře svařitelná, ale také mají velký zápor a tím je slabá korozivzdornost. Měděné potrubí jsou oproti ocelovým velmi dobře odolné vůči korozi. A také lehce spojitelné pájením, ale mají také velkou tepelnou roztažnost. Používají se také plastové trubky jejich výhodou je nízká cena a korozi vzdornost ale obrovská tepelná roztažnost oproti kovovým materiálům. Použitelnost v rozmezí teplot 110 – 140°C.

2.3 Horkovzdušná otopná soustava

Horkovzdušná otopná soustava je dobře známa historická otopná soustava, znali ji již staří Římané a Řekové. U tohoto typu vytápění je hlavní výhodou je nenáročnost soustavy a také nenutnost mít zdroj tepla ve vytápěném pokoji. Jednoduchá regulace teploty a také v jaké kvalitě, díky tomu je také častě používaná. K ohřevu teplého vzduchu je možné použít velké množství zdrojů. I pro rozvody máme na výběr z několika možností. Pro cirkulaci ohřátého vzduchu můžeme použít buď to vhodný ventilátor, nebo také existuje možnost přirozené cirkulace. Ta funguje na základních fyzikálních principech a to je na rozdílu hustot teplého a studeného vzduchu, tak že teplejší vzduch má menší hustotu a z toho důvodu ho chladnější vzduch vytlačuje výše. Proudění v rozvodné soustavě je rozdělena podle Reynoldsova čísla. Je-li $Re < 2320$ jedná se o laminární proudění. Je-li $Re > 2320$ jedná se o turbulentní proudění. Viz. na obrázku číslo (2. 2), jak proudění vypadá.



1. Turbulentní proudění
2. Laminární proudění

Obrázek číslo: 2.2 rozdělení proudění podle Reynoldsova čísla [16]

Výpočet typu prodění

$$Re = \frac{W \cdot d}{\nu}$$

Popis veličin:

W	rychlost vzduchu	[m/s]
d	průměr potrubí	[m]
ν	kinematická viskozita	[m ² /s]

Při pohybu vzduchu dochází ke ztrátám třením plynu o stěny potrubí a molekul mezi sebou. A to se projevuje ztrátou tlaku a tím vzniká tzv.: Tlaková ztráta potrubí.

Typy ztrát:

- I. Místní (narušení kontinuity proudu vzduchu)
- II. Tření (třením molekul mezi sebou a o stěny potrubí)

Výhody horkovzdušné otopné soustavy:

- Nízká teplota ohřívaného vzduchu (do 50°C)
- Rychlý nástup topného účinku
- Nezávislost na elektřině (při samotížném zapojení)
- Nízké vstupní náklady

Nevýhody horkovzdušné otopné soustavy

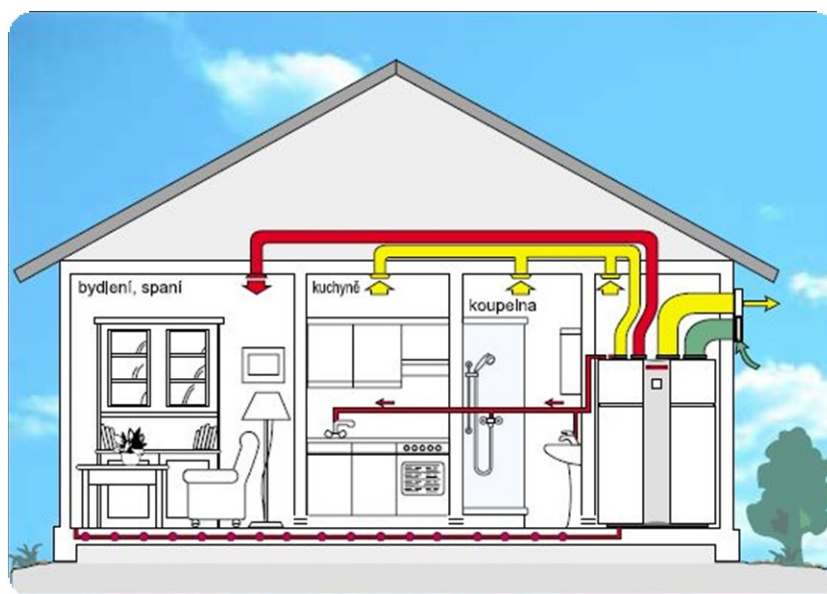
- Suchý vzduch
- Víření prachu
- Rozvádí zvuk (potřeba protihlukové izolace)

Rozdělení rozvodných potrubí

- Součástí staveb
- Plechové potrubí (kruhového, čtvercového průřezu)

2.4 Topení rekuperací

Tento typ se hojně používá u pasivních domů. Princip tohoto vytápění je založen na rekuperaci tepelné energie, která odchází ven větraným vzduchem neodejde ven bez užitku. Ale předá svou energii pomoci rekuperačního výměníku čistému vzduchu, který vstupuje do domu. A neodchází bez využití ven, což snižuje energetické nároky na vytápění a klesají i ekonomické náklady. Tímto způsobem lze ušetřit až 30% energie. Tento způsob se hojně využívá u budov, ve kterých je výměna vzduchu nutná z hygienických důvodů. Ale pozor tento typ topení netopí sám, ale soustava se musí ohřívat jedním z konvečních způsobu vytápění.



Obrázek číslo: 2.3 topení rekuperací [17]

3 Krby a kamna

3.1 Historie

Už od dob kdy člověk začal používat oheň v otevřených ohništích, a kouř odcházel samovolně neřízenou cestou otvorem ve střeše. Nejstarší Evropské zmínky o stavbě krbů jsou z 9.století z Itálie a Švýcarska. Tyto krby byli velice jednoduché a neprodukovaly mnoho tepla z důvodu své nízké účinnosti asi $\eta=10\%$. Byli používány pro své všestranné vlastnosti. Sloužili k přípravě pokrmů, k vytápění obytných prostor v zimě.

Z archeologických vykopávek je patrná jednoduchost prehistorických ohnišť které byli umístěny u prostřed obytných prostor.



Z dalším vývojem člověka stoupaly i nároky na spotřebu energií a komfort bydlení. A tím pádem se i začali přizpůsobovat ohniště a odvod spalin. Při postupném vývoji lidských staveb, byli ohniště uprostřed obytných prostor nemožné a přesunuli se k obvodu domů. Pro odvod spalin se začaly stavět komíny, které jednak zvyšovali komfort, ale hlavně bezpečnost. Po těchto úpravách a obestavění ohniště ze tří stran zdmi vzniká otevřený krb.

První kamna, která kdy Evropa spatřila, byla vyrobena v roce 1490 ve Francii v Alsasku.

Tyto kamna byla již postavena z cihel a kachlů a měla komín pro odvod spalin.

V Číně a Japonsku znali uzavřena kamna mnohem dříve než Evropané. A to již od Čínské dynastie Qin (221 – 226/227př. Kr.) kdy byla postave hliněná kamna která, úplně uzavírala oheň. Podobné kamna znali i Japonci pod názvem Kambo. (かまど) vytvořena v Japonsku v 3. – 6. století.



Obrázek číslo: 3.2 kamna Kambo [19]

V 16 a 17 století přišel rychlý vývojem. První vývojový stupeň dal v roce 1678 princ Rupert, který zjistil, že zvýšením roštu se zvýší cirkulace vzduchu a tím i jeho snadnější doprava k palivu. A také že lze přidat přepážku do spalinové cesty která prodloužil jejich setrvání v kamnech. A tím zvýšení produkce tepla.

Další významný počín ve vývoji kamen udělal v roce 1740 Benjamin Franklin, který do praxe zavedl také zvýšený rošt a hlavně posuvné dveře které sloužili k regulaci přiváděného vzduchu.

V roce 1796 Cont Rumsfore změnil stávající tradice ve výrobě kamen a změnil jejich rozměrové rozložení na vysoké ale, zato plytké topeniště. To se podepsalo na zlepšení odvodu spalin a zvýšení odraženého tepla. [2]

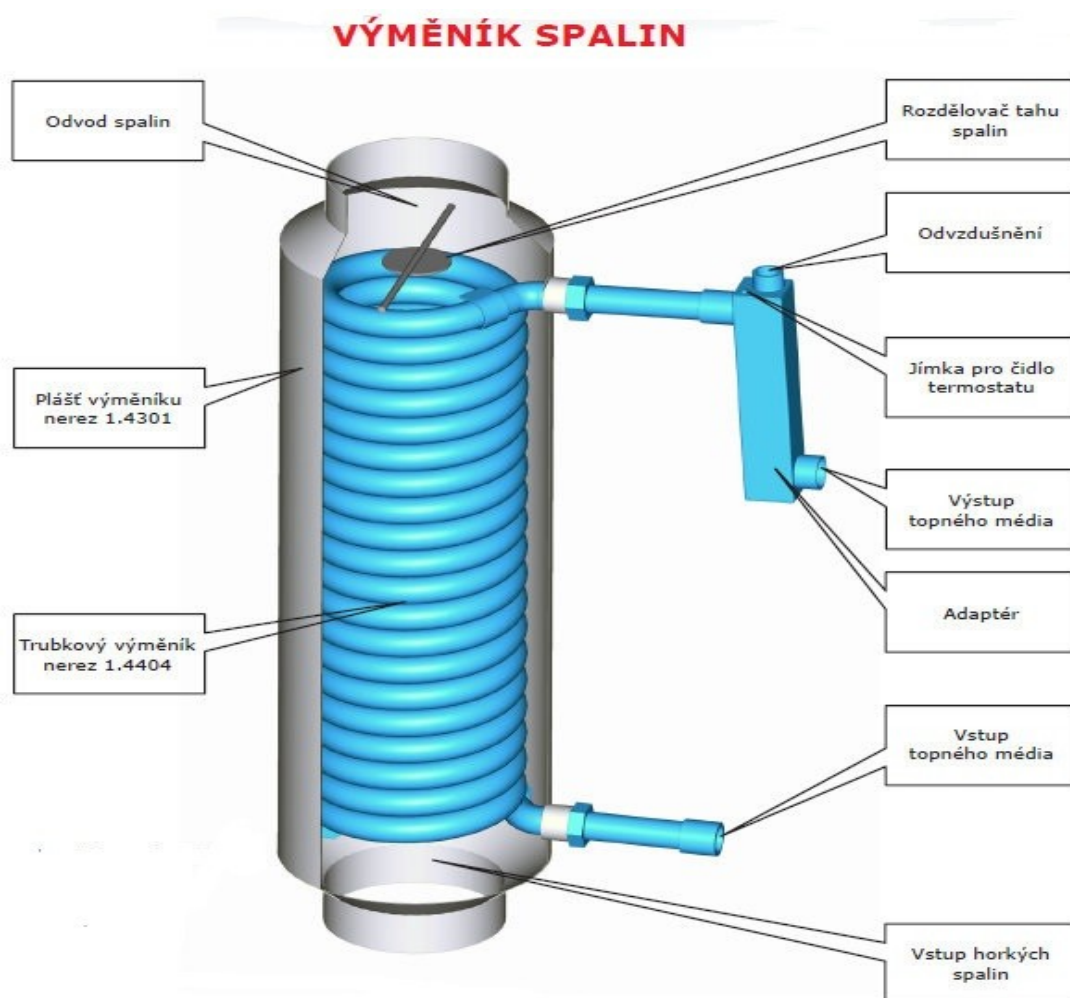
3.2 Základní rozdělení krbu a krbových kamen

- Vnitřní krby
- Otevřené krby
- Uzavřené krby
- Krby uzavřené dvířky
- Krby s krbovou vložkou
- Horko vzdušné krby
- Akumulační krby
- Krbová kamna

4 Výměníky

Výměníky tepla jsou zařízení, která jsou známa už dlouhá léta. A jejich požívání je velice rozšířené ve většině lidských odvětví jako např.: tepelná energetika, teplárenství, chemickém průmyslu, hutnictví, potravinářství atd.. Jak už je jich název říká, slouží k tepelné výměně. Definice je: Slouží k výměně energií mezi soustavami a objekty o různých parametrech. Využívají se k vytápění, chlazení, ohřevu vody, u tepelných čerpadel, solárních systémů a průmyslových aplikacích. Použité látky mohou být voda-voda, plyn-plyn, nebo kombinace předešlých možností.

Princip výměníku je jednoduchý. Výměníky nám umožňují kontinuální nebo nekontinuální výměnu tepla mezi dvěma látkami o nestejně teplotě. Nejznámějším příkladem je těleso ústředního topení, kde je teplo přenášeno pomocí vody do topení, kde je předáváno prostředí místnosti.



Obrázek číslo: 4.1 spalinový výměník [3]

4.1 Rozdělení výměníků

Podle pracovního principu

Povrchové – předání tepla dochází povrchem

- Rekuperační – media jsou od sebe oddělena překážkou (stěnou) teplo se nepřenáší přímo.
 - Souproudé
 - Protiproudé
 - Křížové (jednoduchý kříž)
- Regenerační – pracují tím způsobem, že v určitých časových intervalech jsou stěny výměníku ochlazovány médiem
- Směšovací – hlavní použití mezi kapalinou a plynem, obě látky se smísí bez zpětného oddělení
- Kontaktní – látky se ve výměníku setkávají a předávají si mezi sebou energii (látky mezi sebou nesmějí chemicky reagovat)

Podle způsobu sdílení tepla

- Konvekční výměníky – přenos tepla se děje prouděním media
- Radiační výměníky - přenos tepla se děje sáláním
- Kombinovaný výměník – kombinace výše uvedených

Podle změny skupenství

- Beze změny skupenství
- Se změnou skupenství – ve výměníku dochází k vypařování kapaliny

Podle použitých medií

- Kapalinové výměníky – použité medium je: voda, olej atd.
- Plynové výměníky - použité medium je plyn: dusík, čpavek atd.

5 Teplovodní výměníky používané v krbových kamnech

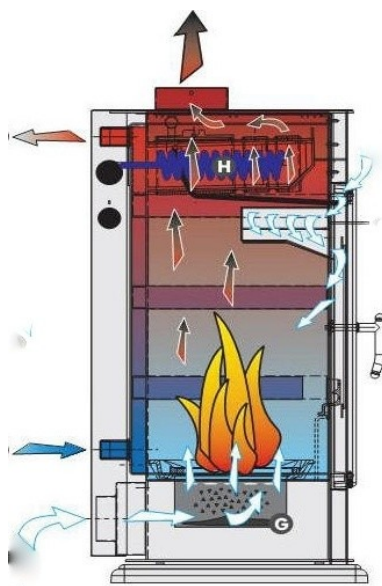
Krbové teplovodní výměníky slouží k maximálnímu zisku energie z kamen, to je chemická energie obsažená v palivu. Která odchází ze spalovacího prostoru nevyužita do kouřovodu v podobě spalin o vysoké teplotě. Toto teplo by bez použití spalinového výměníku odešlo kouřovodem pryč. A jeho energie by byla zbytečně zmařena což je škoda, jak energetická tak hlavně ekonomická. Spalinové výměníky jsou nejčastěji vyráběny v konstrukčním typu spaliny - voda. Kdy spaliny předávají svou energii vodě, která ho může rozvádět a předávat dále, třeba radiátorům nebo boileru a třeba i dalšímu výměníku. Výměník, který se nachází v kouřovodu. Konstrukce tohoto typu je jednoduchá, je to trubka stočená do spirály z několika závitů tak aby byla zaručena jeho účinnost. Tento typ má své klady i zápory. Mezi klady patří jeho nenáročnost na montáž a nízká cena. Mezi zápory hlavně to že se lehce zanáší a proto se musí často čistit. Dalším používaným druhem výměníků je typ, který je konstrukčně velice podobný předešlému jen, se nachází vně kouřovodu. A tím ztrácí na účinnosti ale je jednoduchý na údržbu, která není skoro žádná. Další typ je výměník, který je umístěný přímo v tělese kamen toto řešení. Známe pod názvem dvouplášťové krbové kamna. Tyto vložky jsou většinou vyrobeny z litiny nebo jsou vyzděny šamotem. Výhoda tohoto řešení je hlavně velká účinnost protože se výměník nachází přímo uvnitř kamen. Ale má také velkou nevýhodu, a tou je nebezpečnost propálení tělesa výměníku. A uniku vody do kamen.



Obrázek číslo: 5.2 spalinový výměník uvnitř kouřovodu [20]



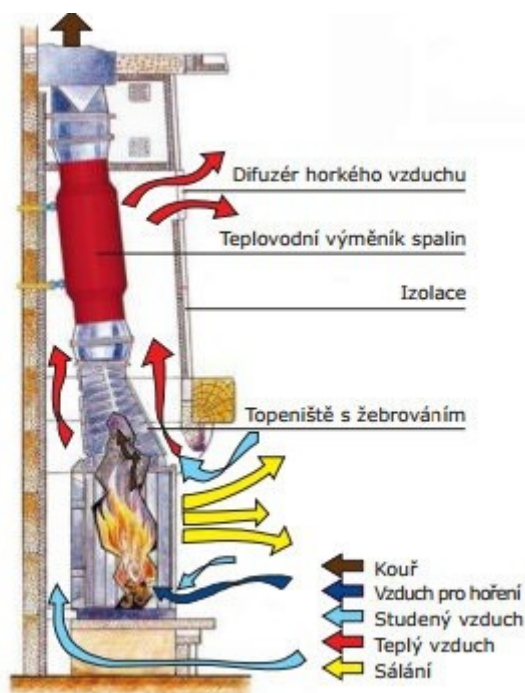
Obrázek číslo: 5.1 spalinový výměník vně kouřovodu [20]



Obrázek číslo: 5.3 výměník v tělese kamen [21]

5.1 Instalace spalínového výměníku na krbovou vložku

Tepelný výměník se montuje na topeniště přímo do spalínové cesty. Tak aby využil co nejlépe teplo odcházející ze spalín které je závislé na použitém palivu, a je v rozmezí (250 až 650°C). Proud spalín je usměrňován usměrňovačem spalín tak, aby byl výměník zahříván rovnoměrně z obou stran. Pro zabezpečení správné funkce výměníků je nutno zapojit tento výměník přes bezpečnostní směšovací uzel. Tento uzel zabezpečuje stálou teplotu vratné vody (60°C), a zamezuje tak kondenzaci na stěnách výměníku a zajišťuje bezpečný provoz výměníku i při výpadku elektrické energie. [3] [4]



Obrázek číslo: 5.4 instalace spalínového výměníku [3]

5.2 Bezpečnostní zásady při použití teplovodního výměníku

Bezpečné zapojení a provozování by mělo být v souladu ze stávajícími legislativními předpisy. A to normami, které se zabývají otopnými soustavami. Montáž by měla být provedena podle návodu. *“Návod k montáži a údržbě je určen odborným topenářům disponujícím na základě své kvalifikace a svých zkušeností dostatečnými znalostmi vytápěcích zařízení”.* [4]

5.3 Normy potřebné k bezpečnému provozu a zapojení výměníku

ČSN 06 0830	Zabezpečení zařízení
ČSN 06 0310	Projektování a montáž
ČSN 03 0320	Příprava teplé vody–navrhování a projektování
ČSN EN 13 240:2005 +A2	Spotřebiče na pevná paliva k vytápění obytných prostor [5]

5.4 Důležité zásady

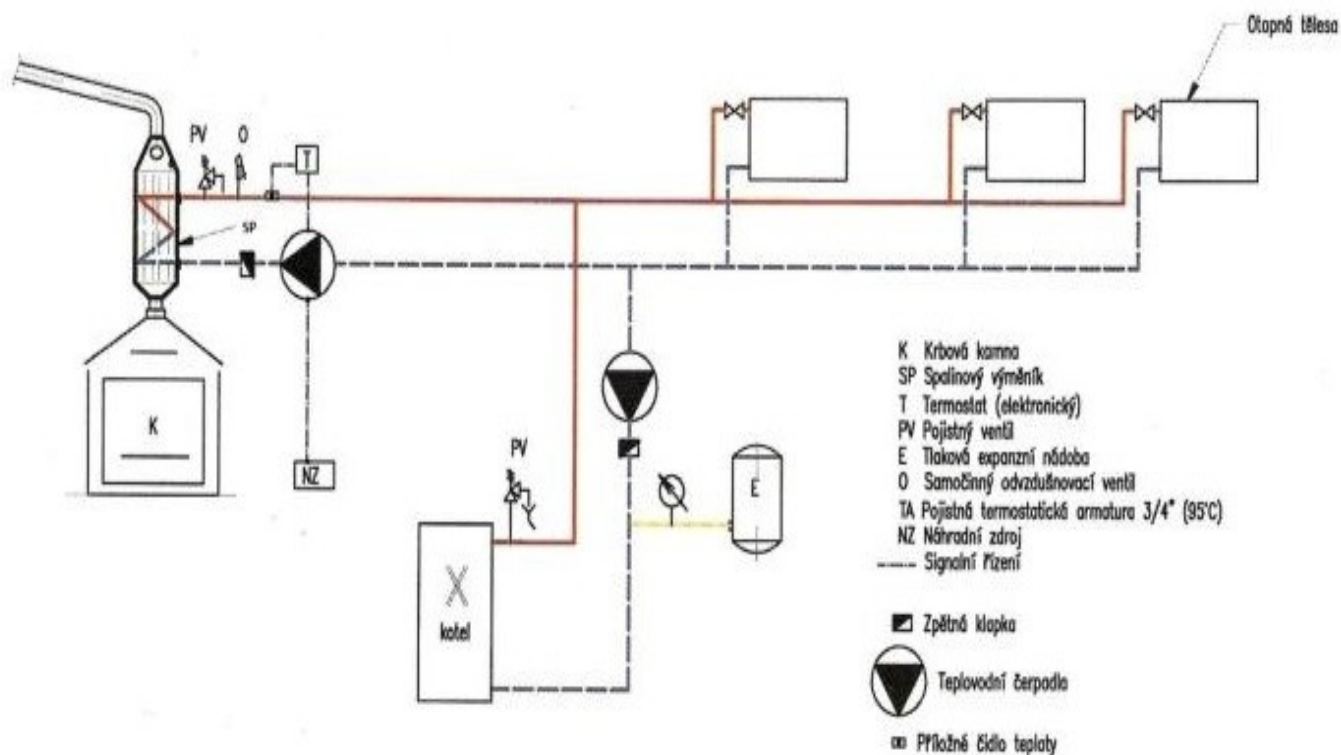
1. Musíme mít stálý, odběr teplé vody z výměníku. (Aby nedošlo k přetopení a prasknutí výměníku)
2. Voda se nesmí nahřát více jak na 110°C. (Ani při poruše)
3. Používat jen výrobcem povolené palivo
4. Provádět pravidelné čištění

5.5 Další důležité části otopné soustavy

System by mel fungovat jako zcela uzavřený okruh a měl by obsahovat tyto jednotlivé díly:

1. Čerpadlo – pro cirkulaci vody v systému
2. Termostat – pro udržení stálé teploty
3. Expanzní nádobu – pro udržení stálého tlaku v okruhu
4. Přetlakový ventil – bezpečnostní prvek
5. Rozvody
6. Zásobník – pro akumulaci tepelná energie

PŘÍKLAD ZAPOJENÍ VÝMĚNÍKU DO OTOPNÉ SOUSTAVY S KOTLEM



Obrázek číslo: 5.5 schéma zapojení výměníku do uzavřeného okruhu [5]

6 Doplnky ke krbovým kamnům zvyšující účinnost

- **Ekowent** – (ekologický ventilátor kamnový) ekologický ventilátor slouží k cirkulaci ohřátého vzduchu z povrchu kamen. Tento systém funguje v rozmezí teplot 205 až 345°C toto omezení je jen z důvodu uložení hřídele v rámu který se ze zvyšující teplotou kroutí. Tento systém funguje, bez potřeby zdroje elektrické energie jen na rozdílu hustot vzduchu teplý vzduch stoupá vzhůru a roztáčí vrtuli. Vrtule má speciální tvar tak aby poskytovala co nejlepší cirkulaci vzduchu. Pro správnou funkci je třeba přesné umístění co nejbližě zadní hraně kamen tak aby urychlený vzduch měl co nejdelší dráhu, nad kamny tak aby pojal co nejvíce tepla.



Obrázek číslo: 6.1 ventilátor Ekowent [22]

- **Turbofan** – proudové zařízení, jehož funkce je efektivně distribuovat teplo. Toto zařízení je umístěno na zadní stranu kde neruší estetiku kamen. Funkce tohoto zařízení je jednoduchá a je založena na zvyšování rychlosti proudění vzduchu podél zadní strany kamen, kde přijme teplo které odevzdá v místnosti. Systém obsahuje turbínu připojenou k rámu, nasávací otvor a také termostat, který lze nastavit v rozmezí teplot 50 až 300°C.



Obrázek číslo: 6.2 Turbofan [22]

7 Spalování

Proces spalování je vlastně oxidace hořlavých látek v palivu při styku s vzdušným kyslíkem. Při oxidační reakci se uvolňuje teplo, které je vázané v chemické energii v palivu. A ta je vázaná v hořlavé složce paliva. Čím máme oxidační reakci větší, tím se uvolní větší množství tepelné energie uvolněno.

8 Stechiometrické výpočty

Stechiometrické výpočty

Hmotové složení tuhého paliva představuje vzájemný poměr mezi jeho složkami.

- Hořlavina – h – organické látky tvořené prvky C, H, S, N, O
- Popelovina – A – veškeré minerální příměsi v palivu
- Voda – W – celková bez ohledu jak se do paliva dostala

Jednotkovým množstvím paliva je 1kg, pak se obsah složek udává v hmotnostních procentech.

$$h + A + W = 1 \quad (1)$$

Tento hrubý rozbor paliva se zjišťuje následovně: Obsah vody budeme znát po dokonalém vysušení paliva, po té nám hořlavinu vyjádří úbytek hmotnosti po spálení a zbytek nám tvoří popelovina. Ve dřevě je obsah popeloviny, kterou představují anorganické látky, vždy velmi nízký. Zpravidla nepřekračuje 1 %. Hořlavina je nejvýznamnější složkou paliva a představují ji prvky C, H, S, N a O. Energie je vázána pouze na uhlík, vodík a síře, kterou v případě dřeva zanedbáváme. [6]

Při výpočtu stechiometrického spalování se předpokládá, že všechny spalitelné složky vyhoří, z paliva což znamená, že se žádná z nich nevyskytne ve spalínách. Prvním krok je výpočet teoretického spalování, kde se počítá s minimálním množstvím vzduchu, a protože ve skutečnosti je spalování paliva prováděno s určitým přebytkem spalovacího vzduchu. Proto tedy provedené výpočty pro spalování s přebytkem vzduchu. Vzorce použité při výpočtu jsem použil z normy ČSN 07 0302. [7]

Jako palivo jsem si zvolil dva roky sušené dřevo. To z důvodu abych se co nejvíce přiblížil k neoptimálnějšímu výsledku výpočtů.

Hmotnostní složení paliva.

W = 20%

C = 43%

H = 4,5%

N = 0,1%

O = 32,2%

A = 0,2%

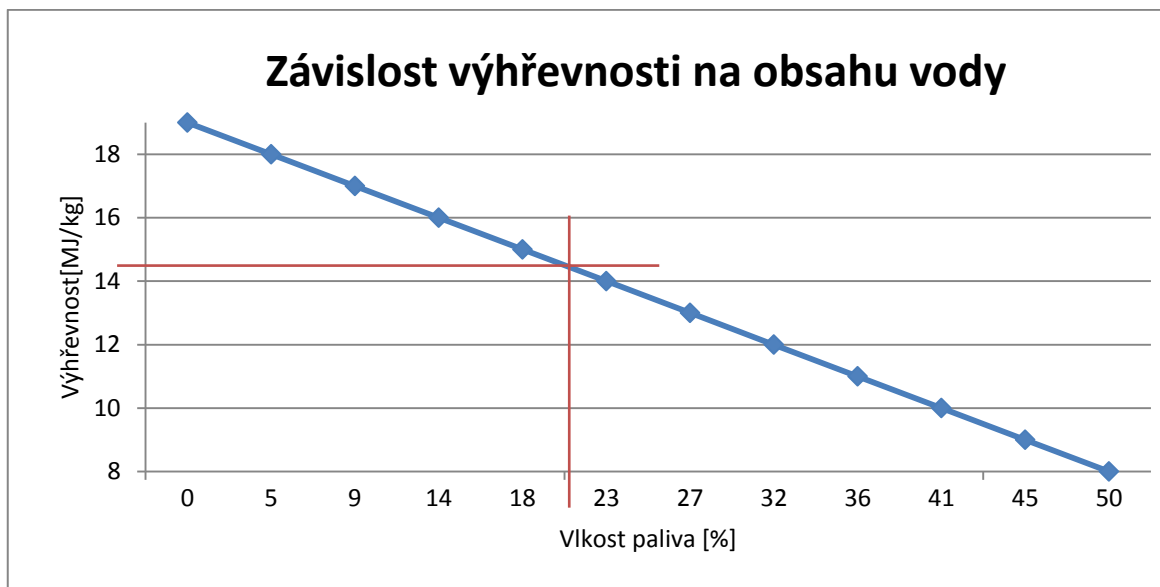
Dosazením do rovnice číslo: (1) ověřím platnost hrubého rozboru.

$$0,798+0,002+0,2 = 1$$

Při spalování paliva v krbových kamnech se spaluje s přebytkem vzduchu 2 – 4. V závislosti na typu kamen a jejich výrobci. A také jak moc máme otevřený přívody primárního a sekundárního vzduchu. Já jsem si zvolil 3.

$$n = 3$$

Výhřevnost jsem si určil z grafu číslo: (8.1) obsah vody v palivu 20 %.



Graf číslo: 8.1 závislost výhřevnosti na obsahu vody ve dřevě [4]

$$Q_i = 14,5 \text{ MJ/kg} = 14500 \text{ kJ/kg}$$

Koeficient vlhkosti vzduchu při normálních klimatických podmínkách, které jsou 70% vlhkost a teplota 20°C, jsem si koeficient zvolil.

$$\nu = 1,016$$

Koeficient vlhkosti představuje objem vlhkého vzduchu obsahující 1 m³ suchého vzduchu.

Hodnoty vstupující a vystupující vody jsem si zvolil podle obvyklé topenářské praxe, kde se volí teplotní spád u nízko-teplotních a teplovodních soustav volí v rozmezí 10 – 25°. Tak jsem si zvolil jednu z obvyklých hodnot tak aby bylo dosaženo co nejdelší životnosti výměníku a zároveň byl dosažen co nejlepší výkon výměníku.

$$t_{v1} = 60^\circ\text{C}$$

$$t_{v2} = 80^\circ\text{C}$$

Stechiometrické objemy vzduchu a spalin

Minimální objem suchého vzduchu potřebného pro spálení 1kg paliva

$$V_{vz,t^s} = \frac{22,39}{0,2095} \cdot \left(\frac{C}{12,011} + \frac{H}{4,032} - \frac{O}{32} \right) \quad [m_n^3/kg] \quad (2)$$

$$V_{vz,t^s} = \frac{22,39}{0,2095} \cdot \left(\frac{0,43}{12,011} + \frac{0,045}{4,032} - \frac{0,322}{32} \right) = 3,9435 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde C obsah uhlíku v surovém palivu
H obsah vodíku v surovém palivu
O obsah kyslíku v surovém palivu

Objem spalin, které vzniknou z dokonalého spálení 1kg dřeva

$$V_{sp,t^s} = \frac{22,26}{12,011} C + \frac{22,4}{28,016} N + 0,7905 \cdot V_{vz,t^s} \quad [m_n^3/kg] \quad (3)$$

$$V_{sp,t^s} = \frac{22,26}{12,011} 0,43 + \frac{22,4}{28,016} 0,001 + 0,7905 \cdot 3,9435 = 3,9151 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde C obsah uhlíku v surovém palivu
N obsah dusíku v surovém palivu
 V_{vz,t^s} objem suchého teoretického vzduchu z vzorce číslo (2)

Objem vodní páry ve spalinách

$$V_{H_2O,t} = 11,111H + 1,2433W + (v - 1) \cdot V_{vz,t^s} \quad [m_n^3/kg] \quad (4)$$

$$V_{H_2O,t} = 11,111 0,045 + 1,2433 0,2 + (1,016 - 1) \cdot 3,943 = 0,8118 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde H obsah vodíku v surovém palivu
W obsah vody v surovém palivu
v koeficient vlhkosti
 V_{vz,t^s} objem suchého teoretického vzduchu z vzorce číslo (2)

Objem vlhkých spalin při dokonalém spálení 1kg paliva

$$V_{sp,t^v} = V_{sp,t^s} + V_{H_2O,t} \quad [m_n^3/kg] \quad (5)$$

$$V_{sp,t^v} = 3,9151 + 0,8118 = 4,7368 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde V_{sp,t^s} objem suchých teoretických spalin z vzorce číslo (3)

$V_{H_2O,t}$ objem teoretické vodní páry z vzorce číslo (4)

8.1 Nad stechiometrické objemy vzduchu a spalin

Skutečný objem suchého vzduchu potřebného k dokonalému spálení 1 kg paliva

$$V_{vz,s^s} = V_{vz,t^s} \cdot n \quad [m_n^3/kg] \quad (6)$$

$$V_{vz,s^s} = 3,9435 \cdot 3 = 11,8305 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde V_{vz,s^s} objem suchého teoretického vzduchu z vzorce číslo (2)

n přebytek vzduchu

Skutečný objem vlhkého vzduchu potřebného k dokonalému spálení 1kg paliva

$$V_{vz,s^v} = V_{vz,s^s} \cdot v \quad [m_n^3/kg] \quad (7)$$

$$V_{vz,s^v} = 11,8305 \cdot 1,016 = 12,0198 \text{ m}_n^3/kg$$

Objem suchých spalin skutečných při spálení 1 kg paliva

$$V_{sp,s^s} = V_{sp,t^s} + (n - 1) \cdot V_{vz,t^s} \quad [m_n^3/kg] \quad (8)$$

$$V_{sp,s^s} = 3,915 + (2 - 1) \cdot 3,9435 = 11,8021 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde V_{sp,t^s} objem suchých teoretických spalin z vzorce číslo (3)

n přebytek vzduchu

V_{vz,t^s} objem suchého teoretického vzduchu z vzorce číslo (2)

Skutečný objem vodní páry ve spalínách

$$V_{H_2O,s} = V_{H_2O,t} + (v - 1) \cdot (n - 1) \cdot V_{vz,s^s} \quad [m_n^3/kg] \quad (9)$$

$$V_{H_2O,s} = 0,8118 + (2 - 1) \cdot (1,016 - 1) \cdot 3,9435 = 0,9379 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde $V_{H_2O,t}$ objem teoretické vodní páry
 n přebytek vzduchu
 v koeficient vlhkosti
 V_{vz,s^s} objem suchého teoretického vzduchu ze vzorce číslo (6)

Objem vlhkých spalín skutečných při spálení 1 kg paliva

$$\dot{V}_{sp,s^v} = V_{vs,p^s} + V_{H_2O,s} \quad [m_n^3/kg] \quad (10)$$

$$\dot{V}_{sp,s^v} = 11,8305 + 0,9379 = 12,7399 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde V_{vs,p^s} objem suchých skutečných spalín z vzorce číslo (8)
 $V_{H_2O,s}$ objem skutečné vodní páry z vzorce číslo (9)

Objemy jednotlivých prvků ve spalínách z paliva při skutečném spalování

$$V_{CO_2,p,s} = \frac{22,26}{12,011} \cdot C \quad [m_n^3/kg] \quad (11)$$

$$V_{CO_2,p,s} = \frac{22,26}{12,011} \cdot 0,43 = 0,7969 \text{ m}_n^3/kg$$

$$V_{N_2,p,s} = \frac{22,4}{28,016} \cdot N \quad [m_n^3/kg] \quad (12)$$

$$V_{N_2,p,s} = \frac{22,4}{28,016} \cdot 0,001 = 0,008 \text{ m}_n^3/kg$$

Kde C je obsah uhlíku v palivu
 N je obsah dusíku v palivu

Objemy jednotlivých prvků ve spalínách ze vzduchu při skutečném spalování

$$V_{\text{CO}_2, \text{vz}, s} = 0,0003 \cdot V_{\text{vz}, s} \quad [\text{m}_n^3/\text{kg}] \quad (13)$$

$$V_{\text{CO}_2, \text{vz}, s} = 0,0003 \cdot 11,8305 = 0,0035 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

$$V_{\text{N}_2, \text{vz}, s} = 0,7809 \cdot V_{\text{vz}, s} \quad [\text{m}_n^3/\text{kg}] \quad (14)$$

$$V_{\text{N}_2, \text{vz}, s} = 0,7809 \cdot 11,8305 = 9,2384 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

$$V_{\text{Ar}, \text{vz}, s} = 0,0093 \cdot V_{\text{vz}, s} \quad [\text{m}_n^3/\text{kg}] \quad (15)$$

$$V_{\text{Ar}, \text{vz}, s} = 0,0093 \cdot 11,8305 = 0,1100 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

Kde $V_{\text{vz}, s}$ objem suchého skutečného vzduchu z vzorce číslo (6)

Objem složek ve spalínách, které vzniknou navíc – při nadstechiometrickém spalování

$$V_{\text{CO}, s} = \frac{22,41}{12,011} \cdot C \quad [\text{m}_n^3/\text{kg}] \quad (16)$$

$$V_{\text{CO}, s} = \frac{22,41}{12,011} \cdot 0,43 = 0,7969 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

$$V_{\text{O}_2, s} = \frac{22,39}{12,011} \cdot C \quad [\text{m}_n^3/\text{kg}] \quad (17)$$

$$V_{\text{O}_2, s} = \frac{22,39}{12,011} \cdot 0,43 = 0,8016 \text{ m}_n^3/\text{kg}$$

Kde C množství uhlíku v surovém palivu

Koncentrace jednotlivých složek ve spalínách

$$\omega_i = \frac{V_i}{V_{sp,s^v}} \quad [1] \quad (18)$$

Při dosažení ostatních jednotlivých objemů složek spalín do vzorce číslo (18) získáme koncentraci každé z nich:

$$\omega_{N_2} = \frac{V_{N_2,p,s} + V_{N_2,vz,s}}{V_{sp,s^v}}$$

$$\omega_{N_2} = \frac{0,0008 + 9,2384}{12,7399} = 0,7252$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{V_{H_2O,s}}{V_{sp,s^v}}$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{0,9379}{12,7399} = 0,736$$

$$\omega_{CO} = \frac{V_{CO,s}}{V_{sp,s^v}}$$

$$\omega_{CO} = \frac{0,7969}{12,7399} = 0,0626$$

$$\omega_{O_2} = \frac{V_{O_2,s}}{V_{sp,s^v}}$$

$$\omega_{O_2} = \frac{0,8016}{12,7399} = 0,0629$$

$$\omega_{CO_2} = \frac{V_{CO_2,p,s} + V_{CO_2,vz,s}}{V_{sp,s^v}}$$

$$\omega_{CO_2} = \frac{0,7969 + 0,0035}{12,7399} = 0,0628$$

$$\omega_{Ar} = \frac{V_{Ar,vz,s}}{V_{sp,s^v}}$$

$$\omega_{Ar} = \frac{0,1100}{12,7399} = 0,0086$$

Kde	$V_{N_2,p,s}$	objem dusíku v palivu
	$V_{N_2,vz,s}$	objem dusíku z vzduchu
	$V_{H_2O,s}$	objem skutečné vodní páry
	$V_{CO,s}$	objem oxidu uhelnatého
	$V_{O_2,s}$	objem kyslíku
	$V_{CO_2,p,s}$	objem oxidu uhličitého z paliva
	$V_{CO_2,vz,s}$	objem oxidu uhličitého ze vzduchu
	$V_{Ar,vz,s}$	objem argonu ze vzduchu
	V_{sp,s^v}	objem skutečných vlhkých spalin

Kontrolu jsem provedl součtem jednotlivých koncentrací, které by měly dávat dohromady 100% to znamená hodnotu 1.

$$\sum \omega_i = 1$$

9 Návrh výměníku do kouřové cesty spaliny – voda

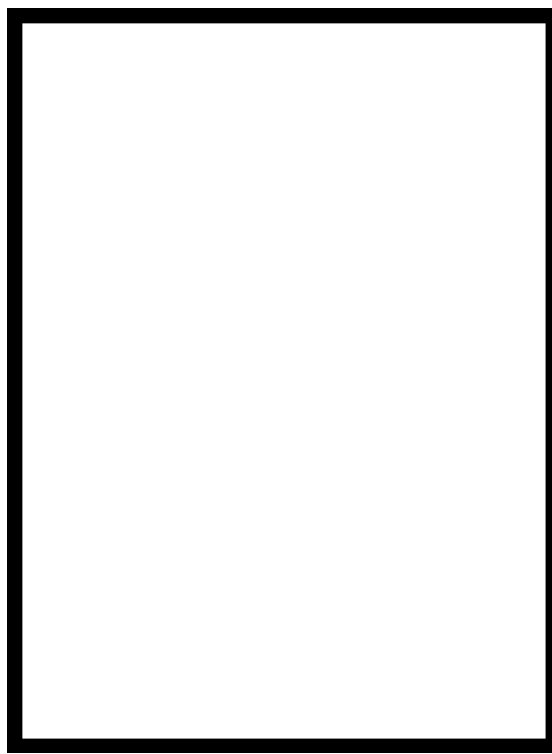
Návrh konstrukce použitého materiálu a rozměru

Při návrhu výměníku, jsem se držel technického řešení, umístit výměník do kouřovodu, který je mimo kamna. Při návrhu, jsem použil co, nejjednodušší konstrukci která se skládá ze dvou trubek různého průměru. A to tak že vnitřní trubka je vlastní kouřovod a je vybavená šesti žebry a ve vnější nám cirkuluje voda. Vstupní voda bude přivedena do spodní části výměníku. Výstupní voda bude vystupovat na opačném konci a to v horní části výměníku. Tím bude zlepšena cirkulace ohřáté vody vzhůru.

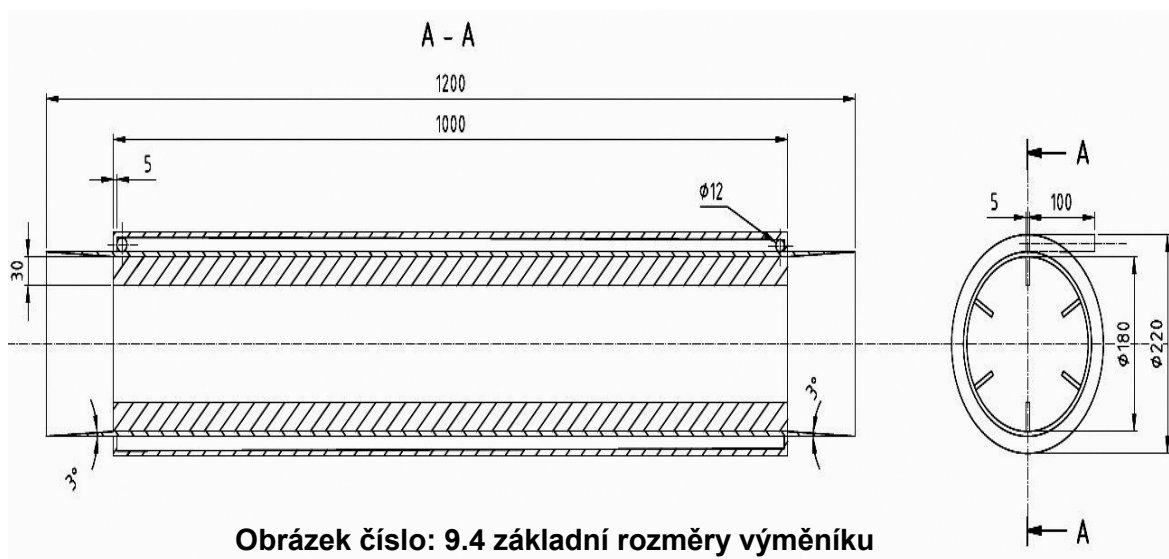
Jako materiál na výměník jsem zvolil nerezové ocelové trubky o tloušťce stěny 5 mm a průměru 180 a 220 mm. Povrchová úprava materiálu není třeba materiál má vysokou odolnost vůči vysokým teplotám a korozi což je v mém případě velmi vhodné. Pokud bude nějaká povrchová úprava tak jen pro potřeby estetiky.

Postupy použité při návrhu jsem čerpal z literatury [8]

Základní rozměry výměníku



Obrázek číslo: 9.1 3D návrh výměníku



9.1 Výpočet teploty spalin

Uvažuji, že výměník pracuje s 100% účinností. Platí tepelná bilance mezi výhřevností paliva, entalpií vzduchu a entalpií paliva.

Vstupní a výstupní entalpie

$$Q_i + i_{\text{pal}} + i_{\text{vz}} = i_{\text{spal}} \quad [\text{kW}] \quad (19)$$

Entalpie je součet vnitřní energie a vnější energie a při výpočtu jí počítám jako násobek množství, měrné tepelné kapacity a rozdílu teplot. Rozdíl teplot je chápán jako absolutní rozdíl teplot za normálních podmínek a teploty dané veličiny. Dosazením do rovnice číslo (19) získám rovnici, z které vyjádřím teplotu ve spalovacím prostoru.

$$Q_i + C_{\text{ppal}} \cdot \Delta t_{\text{pal}} \cdot V_{\text{pal}} + C_{\text{pvz}} \cdot \Delta t_{\text{vz}} \cdot V_{\text{vz},s^v} = C_{\text{psp}} \cdot \Delta t_{\text{sp}} \cdot V_{\text{sp},s^v} \quad [\text{kW}] \quad (20)$$

Měrná tepelná kapacita vzduchu

Měrnou tepelnou kapacitu vzduchu určím pomocí tabulky Měrné tepelné kapacity vzduchu – viz.: příloha číslo 5. Pro teplotu vzduchu 20°C. Pomocí interpolace určím přesnou hodnotu.

$t_{\text{vz}} = 0^\circ\text{C}$	$C_p = 1,297$	$\text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$
$t_{\text{vz}} = 20^\circ\text{C}$	$C_p = 1,2988$	$\text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$
$t_{\text{vz}} = 100^\circ\text{C}$	$C_p = 1,306$	$\text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$

Měrná tepelná kapacita paliva (dřevo – Dub)

Měrnou tepelnou kapacitu paliva jsem zjistil z tabulky Měrné tepelné kapacity pevných látek při teplotě – viz.: příloha číslo 4. Teplotu paliva jsem zvolil stejně jako teplotu vzduchu.

$$T_{\text{pal}} = 20^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{ppal}} = 2,39 \quad \text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

Měrná tepelná kapacita spalin – odhad

Pro měrnou tepelnou kapacitu spalin musím nejprve zjistit tepelné kapacity jednotlivých složek spalin. Měrné tepelné kapacity jsem zjistil z tabulky měrné tepelné kapacity plynů za stálého tlaku viz.: příloha číslo 6. Protože ještě neznám přesnou teplotu spalin tak si nastřelím teplotu spalin 300°C , která by měla odpovídat teplotě spalin při vstupu do kouřovodu.

V některých literaturách nejsou stanoveny hodnoty pro argon a jsou pro ně přiřazeny hodnoty dusíku. A proto, že nemám ve mnou použité literatuře hodnoty pro měrnou tepelnou kapacitu argonu hodnoty stanoveny, použiji hodnoty dusíku.

$$t_{\text{O}_2} = 300^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{pO}_2} = 1,356 \quad \text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$t_{\text{N}_2} = 300^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{pN}_2} = 1,311 \quad \text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$t_{\text{CO}_2} = 300^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{pCO}_2} = 1,863 \quad \text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$t_{\text{CO}} = 300^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{pCO}} = 1,317 \quad \text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$t_{\text{SO}} = 300^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{pSO}} = 1,955 \quad \text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$t_{\text{H}_2\text{O}} = 300^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{pH}_2\text{O}} = 1,542 \quad \text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$t_{\text{O}_2} = 300^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{pO}_2} = 1,542 \quad \text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$C_{\text{psp}} = \sum \omega_i \cdot C_{\text{pi}} \quad [\text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})] \quad (21)$$

Dosazením do vzorce číslo (21) Spočteme měrnou tepelnou kapacitu na straně spalin.

$$C_{psp} = \omega_{N_2} \cdot C_{pN_2} + \omega_{H_2O} \cdot C_{pH_2O} + \omega_{CO} \cdot C_{pCO} + \omega_{O_2} \cdot C_{pO_2} + \omega_{CO_2} \cdot C_{pCO_2} + \omega_{Ar} \cdot C_{pN_2} = 1,311 \cdot 0,7252 + 1,542 \cdot 0,0736 + 1,317 \cdot 0,626 + 1,356 \cdot 0,0629 + 1,317 \cdot 0,0628 + 1,311 \cdot 0,086 = 1,3604 \text{ kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

Kde	ω_{N_2}	koncentrace dusíku z vzorce číslo (18)
	C_{pN_2}	měrná tepelná kapacita dusíku při 300°C
	ω_{H_2O}	koncentrace páry z vzorce číslo (18)
	C_{pH_2O}	měrná tepelná kapacita páry při 300°C
	ω_{CO}	koncentrace oxidu uhelnatého z vzorce číslo (18)
	C_{pCO}	měrná tepelná kapacita oxidu uhelnatého při 300°C
	ω_{O_2}	koncentrace kyslíku z vzorce číslo (18)
	C_{pO_2}	měrná tepelná kapacita kyslíku při 300°C
	ω_{CO_2}	koncentrace oxidu uhličitého z vzorce číslo (18)
	C_{pCO_2}	měrná tepelná kapacita oxidu uhličitého při 300°C
	ω_{Ar}	koncentrace argonu z vzorce číslo (18)

Teplota spalin ve spalovací komoře s C_{psp} pro 300°C

Z základní bilance vstupní a výstupní entalpie ze vzorce číslo (20) vypočítám teplotu ve spalovací komoře. Teplotu spočítám pro 1kg paliva.

$$\Delta t_{sp} = \frac{Q_i + C_{ppal} \cdot \Delta t_{pal} \cdot V_{pal} + C_{pvz} \cdot \Delta t_{vz} \cdot V_{vz,s^v}}{C_{psp} \cdot V_{sp,s^v}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (22)$$

$$\Delta t_{sp} = \frac{14500 + 2,39 \cdot 20 \cdot 2 + 1,2988 \cdot 20 \cdot 12,0198}{1,3604 \cdot 12,7399} = 857,528 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Kde	Q_i	výhřevnost paliva
	C_{ppal}	měrná tepelná kapacita dřeva
	Δt_{pal}	rozdíl teploty paliva
	V_{pal}	objem paliva
	C_{pvz}	měrná tepelná kapacita vzduchu
	Δt_{vz}	rozdíl teploty vzduchu
	V_{vz,s^v}	objem vzduchu skutečného vlhkého z vzorce číslo (7)
	C_{psp}	měrná tepelná kapacita spalin z vzorce číslo (21)
	V_{sp,s^v}	objem skutečných vlhkých spalin z vzorce číslo (10)

Měrná tepelná kapacita spalín pro 857°C

Přepočet provedu stejný jak v předešlém a tepelnou kapacitu si určím pro 857°C. Měrné tepelné kapacity plynů za stálého tlaku viz.: příloha číslo 3. A použiji interpolaci hodnot tak abych získal svojí hodnotu při teplotě 857°C.

Interpolované hodnoty.

$$C_{pN_2} \text{ pro } 857^\circ\text{C} = 1,3994 \text{ kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$C_{pH_2O} \text{ pro } 857^\circ\text{C} = 1,6839 \text{ kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$C_{pCO} \text{ pro } 857^\circ\text{C} = 0,0628 \text{ kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$C_{pO_2} \text{ pro } 857^\circ\text{C} = 1,394 \text{ kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$C_{pCO_2} \text{ pro } 857^\circ\text{C} = 1,459 \text{ kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$C_{pAr} \text{ pro } 857^\circ\text{C} = 1,3994 \text{ kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

$$C_{psp} = \omega_{N_2} \cdot C_{pN_2} + \omega_{H_2O} \cdot C_{pH_2O} + \omega_{CO} \cdot C_{pCO} + \omega_{O_2} \cdot C_{pO_2} + \omega_{CO_2} \cdot C_{pCO_2} + \omega_{Ar} \cdot C_{pN_2} \quad [\text{kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})] \quad (23)$$

$$C_{psp} = 0,7252 \cdot 1,3794 + 0,0736 \cdot 1,6839 + 0,0626 \cdot 2,1527 + 0,0628 \cdot 1,394 + \\ + 0,0086 \cdot 1,3794 = 1,3627 \text{ kJ}/(\text{m}_n^3 \cdot \text{K})$$

Kde	ω_{N_2}	koncentrace dusíku z vzorce číslo (1)
	C_{pN_2}	měrná tepelná kapacita dusíku při 857°C
	ω_{H_2O}	koncentrace páry z vzorce číslo (18)
	C_{pH_2O}	měrná tepelná kapacita páry při 857°C
	ω_{CO}	koncentrace oxidu uhelnatého z vzorce číslo (18)
	C_{pCO}	měrná tepelná kapacita oxidu uhelnatého při 857°C
	ω_{O_2}	koncentrace kyslíku z vzorce číslo (18)
	C_{pO_2}	měrná tepelná kapacita kyslíku při 857°C
	ω_{CO_2}	koncentrace oxidu uhličitého z vzorce číslo (18)
	C_{pCO_2}	měrná tepelná kapacita oxidu uhličitého při 857°C
	ω_{Ar}	koncentrace argonu z vzorce číslo (18)

Teplota spalin ve spalovací komoře s C_{psp} pro 857°C

Přepočet teploty spalin pro střední měrnou tepelnou kapacitu spalin pro 857°C. Takhle bych mohl pokračovat až do nekonečna, ale rozdíly ve výsledcích se nebudou zásadně měnit a pro můj účel mi bude stačit tato hodnota.

$$\Delta t_{sp} = \frac{Q_i + C_{ppal} \cdot \Delta t_{pal} \cdot V_{pal} + C_{pvz} \cdot \Delta t_{vz} \cdot V_{vz,s^v}}{C_{psp} \cdot V_{sp,s^v}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (24)$$

$$\Delta t_{sp} = \frac{14500 + 2,39 \cdot 20 \cdot 1 + 1,2988 \cdot 20 \cdot 12,0198}{1,3627 \cdot 12,7399} = 855,9655 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

9.2 Výpočet spotřeby paliva v kamnech

Účinnost spalování kamen, jsem zvolil s ohledem na velký přebytek vzduchu.

$$\eta_{kam} = 70\%$$

$$\eta_{zbyt} = 30\%$$

$$Q_i = 14,5 \text{ MJ/kg}$$

Sálavý výkon kamen

Sálavý výkon kamen jsem si určil z tepelné bilance vstupních a výstupních energií.

$$Q_{sal} = I_{pal} - I_{Spal} + I_{vz} + Q_i \quad [\text{kJ}] \quad (25)$$

Entalpie je součet vnitřní energie a vnější energie a při výpočtu jí počítáme jako násobek množství, měrné tepelné kapacity a rozdílu teploty. Rozdíl teplot je chápán jako absolutní rozdíl teplot za normálních podmínek a teploty dané veličiny. Dosazením do rovnice číslo (25). A připočtu výhřevnost paliva.

$$Q_{sal} = (C_{ppal} \cdot \Delta t_{pal} \cdot V_{pal}) + [k] \quad (26)$$

$$+ (C_{pvz} \cdot \Delta t_{vz} \cdot V_{vz,s^v}) - (C_{psp} \cdot \Delta t_{sp} \cdot V_{sp,s^v}) + Q_i$$

$$Q_{sal} = (2,39 \cdot (380 - 20) \cdot 1) + + (1,324 \cdot (380 - 20) \cdot 12,0198)$$

$$- (1,3604 \cdot (380 - 20) \cdot 12,7399) + 14500 = 14\,850,2 \text{ kJ}$$

Kde C_{ppal} měrná tepelná kapacita paliva
 Δt_{pal} rozdíl mezi teplotou spalin a teplotou okolí
 V_{pal} objem paliva
 C_{pvz} měrná tepelná kapacita
 Δt_{vz} rozdíl mezi teplotou spalin a teplotou okolí
 V_{vz,s^v} objem vzduchu ze vzorce číslo (7)

Zbytkový výkon – komínová ztráta

$$Q_{zbyt} = \frac{Q_{sal}}{100\%} \cdot \eta_{zbyt} [k] \quad (27)$$

$$Q_{zbyt} = \frac{1485,2}{100\%} \cdot 30 = 4455,07 \text{ kJ}$$

Kde Q_{sal} sálavý výkon ze vzorce číslo (26)
 η_{zbyt} účinnost zbytková

Hmotnostní průtok paliva

$$\dot{m}_{pal} = \frac{Q_{sal} + Q_{zbyt}}{Q_i + \eta_{kam}} [kg/s] \quad (28)$$

$$\dot{m}_{pal} = \frac{14850,2 + 4455,07}{14,5 \cdot 10^6 \cdot 0,7} = 0,0019 \text{ kg/s}$$

Kde Q_{sal} sálavý výkon ze vzorce číslo (26)
 Q_{zbyt} zbytkový výkon vzorce číslo (27)
 Q_i výhřevnost paliva
 η_{kam} účinnost kamen

Skutečný objem spalin

Ze stavové rovnice vyjádřím, objem spalin, které budou proudit v závislosti na množství paliva.

$$\dot{V}_{sp,s} = \frac{(\dot{m}_{pal} \cdot V_{sp,s^v}) \cdot T_{sp}}{T_n} \quad [m^3/s] \quad (29)$$

$$\dot{V}_{sp,s} = \frac{(0,0019 \cdot 12,7399) \cdot (380 + 273,15)}{273,15} = 0,058 \text{ m}^3/s$$

Kde \dot{m}_{pal} hmotnostní průtok paliva ze vzorce číslo (28)
 \dot{V}_{sp,s^v} objem skutečných vlhkých spalin ze vzorce číslo (10)
 T_{sp} teplota spalin v trubce
 T_n teplota za normálních podmínek

9.3 Součinitel přestupu tepla na straně spalin

Přestup tepla konvekcí

Můj výměník je jednoduše členěný a proto jsem vypočetl přestup tepla konvekcí. Pro svislou stěnu kouřovodu, a součinitel α by se po délce kouřovodu neměl zásadně měnit. A proto jsem ho použil pro výpočet celé plochy.

Výpočet proudění svislým kanálem

Teplota, kterou používám pro výpočet je aritmetický průměr, mezi teplotou spalin a teplotou stěny kouřovodu. Moje teplota spalin je cca 380°C a teplota povrchu plechu je odhaduji na 75°C.

Charakteristický rozměr je hydraulický průměr trubky.

Kinematickou viskozitu, součinitel tepelné vodivosti a Prandtlovo kritérium jsem odečetl za pomoci interpolace z tabulky Fyzikální vlastnosti spalin při tlaku 0,1 MPa – viz.: příloha číslo 6.

$$t_{sp} = 380^\circ\text{C}$$

$$t_p = 75^\circ\text{C}$$

Výpočet hydraulického průměru

Charakteristický rozměr potřebný pro výpočet kritérií.

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{o} \quad [\text{m}] \quad (30)$$

Kde S Plocha
 o Obvod

Rozměry výměníku potřebné k výpočtu		
d=	0,018	m
a=	0,005	m
b=	0,03	m
x=	6	počet žeber

Tabulka číslo: 9.1 rozměry výměníku

$$d_h = \frac{4 \cdot \left(\pi \cdot \frac{d^2}{4} \right) - (a \cdot b \cdot x)}{(\pi \cdot d) + ((a + b) \cdot 2) \cdot x - (a \cdot x)}$$

$$= \frac{4 \cdot \left(3,14 \cdot \frac{0,018^2}{4} \right) - (0,005 \cdot 0,03 \cdot 6)}{(3,14 \cdot 0,018) + ((0,005 + 0,03) \cdot 2) \cdot 6 - (0,005 \cdot 6)} = 0,0106 \text{ m}$$

Kde d průměr trubky z tabulky číslo (9.1)
 a šířka žebra z tabulky číslo (9.1)
 b výška žebra z tabulky číslo (9.1)
 x počet žeber z tabulky číslo (9.1)

Reynoldsovo kritérium

Reynoldsovo kritérium určí, jakým typem proudění se budou spaliny v potrubí pohybovat a to v závislosti na kritériu a to laminárně, turbulentně nebo přechodově. A od toho se bude odvíjet další postup výpočtu. Pro výpočet je třeba znát rychlost proudění rychlost proudění spalin v trubce.

$t_{určena}=$	227	°C
$L= d_h=$	0,106	m
$\nu=$	36,3127	$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^{-1}$
$\lambda=$	0,04234	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
$Pr=$	0,6646	

Tabulka číslo: 9.2 hodnoty pro výpočet typu proudění

$$w = \frac{\dot{V}_{sp,s}}{S_t - S_z} \quad [\text{m/s}] \quad (31)$$

$$w = \frac{0,058 \cdot 4}{(3,14 \cdot 0,18^2) - (0,005 \cdot 0,03 \cdot 6)} = 2,3 \text{ m/s}$$

Kde $\dot{V}_{sp,s}$ skutečný objem spalin ze vzorce číslo (29)

S_t plocha trubky

S_z plocha žebra

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu} \quad [1] \quad (32)$$

$$Re = \frac{2,3 \cdot 0,106}{36,3127 \cdot 10^{-6}} = 6713,9 \rightarrow \text{Proudění je v přestupové oblasti}$$

Kde w rychlost proudění ze vzorce číslo (31)

d_h hydraulický průměr ze vzorce číslo (30)

ν kinematická viskozita z tabulky číslo (9.2)

Nusseltovo kritérium

Jelikož délka trubek je menší než $50 \times$ jejich průměr, musíme zavést opravný součinitel. Ten pomocí interpolace odečtu z tabulky číslo (9.3) pro $l/d = 5,55$.

$Re \cdot 10^{-3}$	2,3	2,5	3,0	3,5	4	5	6	7	8	9	10
K_o	3,6	4,9	7,5	10	12,2	16,5	20	24	27	30	33

Tabulka číslo: 9.3 opravný součinitel

$$K_o = 18,95$$

$$Pr_s = 0,6975$$

$$Nu = K_o \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad [1] \quad (33)$$

$$Nu = 18,95 \cdot 0,6646^{0,43} \left(\frac{0,6646}{0,6975} \right)^{0,25} = 15,71$$

Kde K_o opravný součinitel z tabulky číslo (9.3)
 Pr Prantlovo kritérium z tabulky číslo (9.2)
 Pr_s Prantlovo kritérium pro stěnu trubky

α spalin pro svislé potrubí

Výměník je souproudého typu a kouřovod je svislý.

$$\alpha_{sp,kon} = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_h} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (34)$$

$$\alpha_{sp,kon} = \frac{15,71 \cdot 0,04234}{0,106} = 6,275 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Kde Nu Nusseltovo kritérium z tabulky číslo (9.2)
 λ součinitel tepelné vodivosti z tabulky číslo (9.2)
 d_h hydraulický průměr ze vzorce číslo (30)

Přestup tepla radiací

Emisní součinitel jsem si určil 0,8. Jelikož jsem v intervalu (0,8;1). Tlak ve spalovací komoře bude stejný, jako tlak v místnosti to je normální tlak prostředí.

$$\varepsilon'_{pl} = 0,5 \cdot (\varepsilon_{pl} + 1) \quad [1] \quad (35)$$

$$\varepsilon'_{pl} = 0,5 \cdot (0,8 + 1) = 0,9$$

Kde ε_{pl} emisní součinitel plechu

Střední délka zářícího plamene

$$l = 3,4 \cdot \frac{V_{sk}}{S_{sk}} \quad [m] \quad (36)$$

$$V_{sk} = 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 0,075 \text{ m}^3$$

$$S_{sk} = 2 \cdot ((0,3 \cdot 0,5) + (0,5 \cdot 0,5) + (0,5 \cdot 0,3)) = 0,9 \text{ m}^2$$

$$l = 3,4 \cdot \frac{0,075}{0,9} = 0,283 \text{ m}$$

Kde V_{sk} objem spalovací komory
 S_{sk} povrch spalovací komory

Parciální tlaky

$$p_i = p_0 \cdot \frac{\omega_i}{1} \quad [\text{Pa}] \quad (37)$$

Dosazení jednotlivých složek CO_2 a H_2O do předchozího vzorce číslo (37) a vyjádřím parciální tlaky.

$$p_{CO_2} = p_0 \cdot \frac{\omega_{CO_2}}{1} = 100000 \cdot \frac{0,0628}{1} = 6283,118 \text{ Pa}$$

$$p_{H_2O} = p_0 \cdot \frac{\omega_{H_2O}}{1} = 100000 \cdot \frac{0,0736}{1} = 7362,195 \text{ Pa}$$

Kde p_0 tlak ve spalovací komoře
 ω_{CO_2} koncentrace oxidu hlinitého ze vzorce číslo (18)
 ω_{H_2O} koncentrace vodní páry ze vzorce číslo (18)

Emisivita zářících molekul spalin

Z diagramu emisivity v závislosti na teplotě a součinu parciálního tlaku a účinné délky. Viz.: příloha číslo 7 A opravný součinitel jsem určil z dalšího diagramu viz.: příloha číslo 8.

$$\varepsilon_{\text{CO}_2, \text{Sp}} = 0,025$$

$$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}, \text{Sp}} = 0,012$$

$$\beta = 1,06$$

$\Delta\varepsilon$ = lze v našich podmínkách zanedbat

$$\varepsilon_{\text{Sp}} = \varepsilon_{\text{CO}_2, \text{Sp}} + \beta \cdot \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}, \text{Sp}} - \Delta\varepsilon \quad [1] \quad (38)$$

$$\varepsilon_{\text{Sp}} = 0,025 + 1,06 \cdot 0,012 = 0,03772$$

Kde	$\varepsilon_{\text{CO}_2, \text{Sp}}$	emisivita CO_2 spalin pro 857°C
	β	korekční koeficient
	$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}, \text{Sp}}$	emisivita H_2O spalin pro 857°C
	$\Delta\varepsilon$	vzájemné překrytí spektra

Pohltivost plamene

Použil jsem diagramu kde, jsem odečetl emisivitu pro mnou určenou teplotu stěny kterou, jsem si určil 75°C . Teplota stěny je nižší než 500°C a proto jsem si určil mocnitel $n=0,5$.

$$\varepsilon_{\text{CO}_2, \text{Pl}} = 0,055$$

$$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}, \text{Pl}} = 0,075$$

$$n = 0,5$$

$$A_p = \varepsilon_{\text{CO}_2, \text{Pl}} \cdot \left(\frac{T_{\text{Sp}}}{T_{\text{Pl}}} \right)^{0,65} + \beta \cdot \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}, \text{Pl}} \cdot \left(\frac{T_{\text{Sp}}}{T_{\text{Pl}}} \right)^n \quad [1] \quad (39)$$

$$A_p = 0,055 \cdot \left(\frac{380 + 273,15}{75 + 273,15} \right)^{0,65} + 1,06 \cdot 0,075 \cdot \left(\frac{380 + 273,15}{75 + 273,15} \right)^{0,5} = 0,265$$

Kde	$\varepsilon_{\text{CO}_2, \text{Pl}}$	emisivita CO_2 spalin pro 75°C
	β	korekční koeficient
	$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}, \text{Pl}}$	emisivita H_2O spalin pro 75°C
	T_{Sp}	teplota spalin
	T_{Pl}	teplota pláště
	n	mocnitel

Tepelný tok radiací

Dosadím Stefan – Boltzmanovu konstantu která je $5,6 \cdot 10^{-8}$, a předešle hodnoty potřebné k výpočtu. Dosadím do vzorce tepelného toku sáláním.

$$q_{rad} = \varepsilon'_{pl} \cdot \sigma \cdot [(\varepsilon_{sp} \cdot T_{sp}^4) - (A_p - T_{pl}^4)] \quad [W/m^2] \quad (40)$$

$$q_{rad} = 0,9 \cdot 5,6 \cdot 10^{-8} \cdot [(0,03772 \cdot (380 + 273,15)^4) - (0,265 - (75 + 273,15)^4)] = \\ = 150,1 \text{ W/m}^2$$

Kde	ε'_{pl}	stupeň černosti pláště
	σ	Stefan – Boltzanova konstanta
	ε_{sp}	stupeň černosti spalin
	T_{sp}^4	absolutní teplota spalin
	A_p	pohltivost plamene
	T_{pl}^4	absolutní teplota pláště

α Spalin radiací

$$\alpha_{sp,rad} = \frac{q_{rad}}{\Delta t} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (41)$$

$$\alpha_{sp,rad} = \frac{150,1}{380 - 75} = 0,49 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Kde	q_{rad}	tepelný tok radiací ze vzorce číslo (40)
	Δt	rozdíl mezi teplotami spalin a povrchu trubky

α Spalin celková

Přestupy tepla radiací a konvekci jsou na celé teplosměnné ploše výměníku stejné, sečtu jednotlivé součinitele přestupu tepla na straně spalin.

$$\alpha_{sp,celk} = \alpha_{sp,kon} + \alpha_{sp,rad} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (42)$$

$$\alpha_{sp,celk} = 6,275 + 0,49 = 6,765 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Kde	$\alpha_{sp,kon}$	přestup tepla na straně spalin prouděním ze vzorce číslo (34)
	$\alpha_{sp,rad}$	přestup tepla na straně spalin zářením ze vzorce číslo (41)

9.4 Výpočet součinitele přestupu tepla na straně vody

Teplota důležitá pro výpočet je aritmetický střed mezi teplotami vody a teplotou pláště. Teplota vody je střední hodnota vstupní a výstupní teploty vody do výměníku 70°C. A teplotu pláště jsem si zvolil 75°C.

Hodnoty potřebné k výpočtu jako např.: Prandlovo kritérium, součinitel tepelné vodivosti jsem odečetl z tabulky Fyzikálních vlastností nasycené vody a nasycené vodní páry příloha číslo (2). Kinematickou viskozitu si musím určit z dynamické viskozity vody.

Charakteristickým rozměrem je hydraulický průměr.

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{o} \quad [\text{m}] \quad (43)$$

$$d_h = \frac{4 \cdot ((2 \cdot 3,14 \cdot 0,09) \cdot 0,04)}{((2 \cdot 3,14 \cdot 0,09) + 0,04) \cdot 2} = \frac{0,0226}{1,2104} = 0,07471 \text{ m}$$

Kde S plocha
 o obvod

$t_{\text{určena}} =$	75	°C
$L = d_h =$	0,07471	m
$\eta =$	3,188	$\cdot 10^{-4} \text{ Pa/s}$
$\lambda =$	0,6785	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$\text{Pr} =$	0,6975	

Tabulka číslo: 9.4 hodnoty pro výpočet typu proudění

Kinematická viskozita

$$\nu = \frac{\eta}{\rho_{H_2O}} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (44)$$

$$\nu = \frac{3,188 \cdot 10^{-4}}{1000} = 3,188 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Kde η dynamická viskozita při 75°C
 ρ_{H_2O} hustota vody

Měrná tepelná kapacita vody

Měrnou tepelnou kapacitu najdu v tabulce Fyzikální vlastnosti nasycené vody a nasycené vodní páry příloha číslo 2. Pro střední teplotu vstupní a výstupní vody do výměníku 70°C. Pro tuto teplotu budu muset, hodnotu interpolovat.

$$t_v = 70^\circ\text{C}$$

$$C_{pv} = 4,1845 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Hmotnostní průtok vody

$$\dot{m}_{vým} = \frac{Q_{vým,př}}{C_{pvody} \cdot (t_{2vody} - t_{1vody})} \quad [\text{kg/s}] \quad (45)$$

$$\dot{m}_{vým} = \frac{1,5}{4,1845 \cdot (80 - 60)} = 0,018 \text{ kg/s}$$

Kde $Q_{vým}$ předpokládaný výkon výměníku
 C_{pvody} měrná tepelná kapacita vody při 70°C
 t_{2vody} teplota vody na výstupu z výměníku
 t_{1vody} teplota vody na vstupu do výměníku

Opravdový objem vody

Přepočet z hmotnostního na objemový průtok, který bude proudit výměníkem.

$$\dot{V}_v = \frac{\dot{m}_{vým}}{\rho_{H2O}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (46)$$

$$\dot{V}_v = \frac{0,018}{1000} = 0,000018 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kde $\dot{m}_{vým}$ hmotnostní průtok vody ze vzorce číslo (28)
 ρ_{H2O} hustota vody

Rychlost proudění

$$w = \frac{\dot{V}_v}{d_h} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (47)$$

$$w = \frac{0,000018}{0,07471} = 0,00024 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kde \dot{V}_v opravdový objem vody ze vzorce číslo (46)
 d_h charakteristický rozměr ze vzorce číslo (43)

Reynoldsovo kritérium

Reynoldsovo kritérium mi určí, jakým typem proudění mi proudí kapalina v tělese výměníku. Pro výpočet je třeba znát rychlost proudění vody ve výměníku z vzorce (47).

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu} \quad [1] \quad (48)$$

$$Re = \frac{0,00024 \cdot 0,07471}{3,188 \cdot 10^{-7}} = 562,42 \rightarrow \text{Proudění je laminární}$$

Proudění je laminární až do hodnoty $Re < 2320$

Kde w rychlost proudění ze vzorce číslo (47)
 d_h charakteristický rozměr ze vzorce číslo (43)
 ν kinematické viskozita ze vzorce číslo (44)

Součinitel tepelné roztažnosti

$$\gamma = \frac{1}{t_{určená}} \quad [1] \quad (49)$$

$$\gamma = \frac{1}{75 + 273,15} = 0,0029$$

Kde $t_{určená}$ absolutní teplota plechu

Grášofovo kritérium

$$Gr = \frac{g \cdot d_h^3 \cdot \gamma \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad [1] \quad (50)$$

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,07174^3 \cdot 0,0029 \cdot (75 - 60)}{(3,188 \cdot 10^{-7})^2} = 1\,750\,885\,911$$

Kde g gravitační konstanta
 d_h charakteristický rozměr ze vzorce číslo (43)
 γ součinitel tepelné roztažnosti ze vzorce číslo (49)
 Δt rozdíl mezi teplotou spalin a teplotou plechu
 ν kinematická viskozita ze vzorce číslo (44)

Nusseltovo kritérium

Pro výpočet musím připojit opravný součinitel ε_l protože je délka menší než 50d. Ten jsem odečetl z tabulky číslo (9.5) pro $l/d=5,55$. A interpoloval pro požadovanou hodnotu.

l/d	1	2	5	10	15	20	30	40	50
ε_l	1,9	1,7	1,44	1,28	1,18	1,13	1,05	1,02	1

$$\varepsilon_l = 1,9$$

Tabulka číslo: 9.5 opravný koeficient pro krátké trubky

$$Nu = 0,75 \cdot (Re \cdot Pr)^{0,2} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,1} \cdot \varepsilon_l \quad [1] \quad (51)$$

$$Nu = 0,75 \cdot (562,42 \cdot 0,6975)^{0,2} \cdot (1750885911 \cdot 0,6975)^{0,1} \cdot 1,9 = 37,58$$

Kde Re Reynoldsovo kritérium ze vzorce číslo (48)
 Pr Prantlovo kritérium z tabulky číslo (9.4)
 Gr Grashofovo kritérium ze vzorce číslo (50)
 ε_l opravný součinitel z tabulky číslo (9.5)

α Vody pro svislý kanál

Jelikož mám souproutdy výměník, který je uložený svisle musím součinitel zvětšit o 15%.

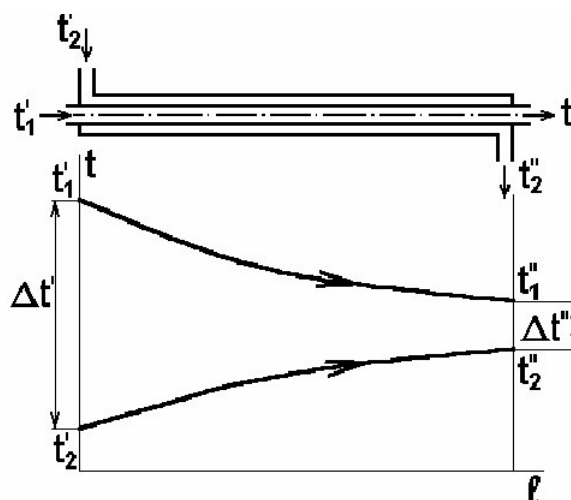
$$\alpha_{vody} = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_h} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (52)$$

$$\alpha_{vody} = \frac{37,58 \cdot 0,6785}{0,07471} = 345,82 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Kde Nu Nusseltovo kritérium ze vzorce číslo (51)
 λ součinitel tepelné vodivosti z tabulky číslo (9.4)
 d_h charakteristický rozměr ze vzorce číslo (43)

10 Výpočet výměníku

Při výpočtu si překontroluji, jestli můj výměník dosáhne mnou chtěného výkonu který jsem si určil 1,5kW. Postupoval jsem podle výpočtu pro souproudý výměník. Na obrázku číslo (10.1) jsou hodnoty t_1 teplotu spalin a t_2 teploty vstupní a výstupní teplotu vody výměníku. Použité vzorce jsem čerpal z literatury. [8]



Obrázek číslo: 10.1 souproudý výměník [11]

Teplosměnná plocha

$$S_{ts} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (v + r) \quad [\text{m}^2] \quad (53)$$

$$S_{ts} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,09 \cdot (1 + 0,09) = 0,6161 \text{ m}^2$$

Kde	π	konstanta
	v	výška výměníku
	r	poloměr trubky výměníku

Součinitel prostupu tepla

Z přílohy číslo 3 jsem určil tepelnou vodivost mnou zvoleného kovu.

$$\lambda_{plechu} = 23,6 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{Sp,celk}} + \frac{x}{\alpha_{plechu}} + \frac{1}{\alpha_{vody}}} \quad [\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}] \quad (54)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{6,765} + \frac{0,005}{23,6} + \frac{1}{345,82}} = 6,63 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Kde	$\alpha_{Sp,celk}$	přestup tepla celkový ze vzorce číslo (42)
	x	šířka plechu
	α_{plechu}	součinitel tepelné vodivosti materiálu
	α_{vody}	přestup tepla na straně vody ze vzorce číslo (52)

Výpočet středního logaritmického teplotního rozdílu

$$\Delta t_{stř} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (55)$$

$$\Delta t_{stř} = \frac{320 - 275,7'}{\ln \frac{320}{275,7}} = 297,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Kde	$\Delta t'$	teplotní spád
	$\Delta t''$	teplotní spád

Výkon výměníku

$$Q_{vým} = k \cdot S_{ts} \cdot \Delta t_{stř} \quad [\text{kW}] \quad (56)$$

$$Q_{vým} = 6,63 \cdot 0,6161 \cdot 297,3 = 1,214 \text{ kW}$$

Kde	k	součinitel prostupu tepla ze vzorce číslo (54)
	S_{ts}	teplosměnná plocha ze vzorce číslo (53)
	$\Delta t_{stř}$	střední logaritmický teplotní rozdíl ze vzorce číslo (55)

Výkon žebra

$$m = \sqrt{\frac{\alpha_{Sp,celk} \cdot U}{\alpha_{plechu} \cdot S_{žeb}}} \quad [1] \quad (57)$$

$$m = \sqrt{\frac{6,765 \cdot 2,01}{23,6 \cdot 0,005}} = 10,57$$

Kde	$\alpha_{Sp,celk}$	přestup tepla celkový ze vzorce číslo (42)
	U	obvod žebra
	α_{plechu}	součinitel tepelné vodivosti materiálu
	$S_{žeb}$	plocha žebra

$$Q_{žeb} = \lambda_{plechu} \cdot S_{žeb} \cdot m \cdot \theta_o \cdot tgh(m \cdot L) \quad [W] \quad (58)$$

$$Q_{žeb} = 23,6 \cdot 0,005 \cdot 10,57 \cdot 305 \cdot tgh(10,57 \cdot 0,03) = 117,5 \text{ W}$$

Kde	$\alpha_{Sp,celk}$	přestup tepla celkový ze vzorce číslo (42)
	$S_{žeb}$	plocha žebra
	m	konstanta žebra
	θ_o	teplotní rozdíl mezi teplotou spalin a vody
	L	výška žebra

Výkon výměníku celkový

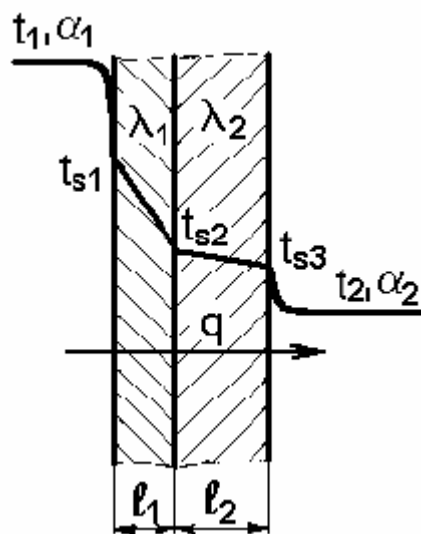
$$Q_{v,celk} = Q_{vým} + (Q_{žeb} \cdot n) \quad [kW] \quad (59)$$

$$Q_{v,celk} = 1,214 + (117,5 \cdot 6) = 1,919 \text{ kW}$$

Kde	$Q_{vým}$	výkon výměníku ze vzorce číslo (56)
	$Q_{žeb}$	výkon žebra ze vzorce číslo (58)
	n	počet žeb

Povrchové teploty plechu

Součinitel prostupu tepla, při výpočtu jsem postupoval podle literatury [8]



Obrázek číslo: 10.2 prostup tepla stěnou [14]

Z přílohy číslo 3 jsem určil tepelnou vodivost mnou zvoleného kovu.

$$\lambda_{plechu} = 23,6 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{Sp,celk}} + \frac{x}{\alpha_{plechu}} + \frac{1}{\alpha_{vody}}} \quad [\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}]$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{6,765} + \frac{0,005}{23,6} + \frac{1}{345,82}} = 6,63 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Kde	$\alpha_{Sp,celk}$	přestup tepla celkový ze vzorce číslo (42)
	x	šířka plechu
	α_{plechu}	součinitel tepelné vodivosti materiálu
	α_{vody}	přestup tepla na straně vody ze vzorce číslo (52)

Teplo sdělené stěnou

$$q = k \cdot (t_{1sp} - t_{2vody}) \quad [\text{W/m}^2] \quad (60)$$

$$q = 6,63 \cdot (380 - 70) = 2055,3 \text{ W/m}^2$$

Kde k součinitel prostupu tepla ze vzorce číslo (54)
 t_{1sp} teplota spalin
 t_{2vody} střední teplota vody

Povrchová teplota stěny

$$t_{s1} = t_{sp} - \left(q \cdot \frac{1}{\alpha_{sp,celk}} \right) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (61)$$

$$t_{s1} = 380 - \left(2055,3 \cdot \frac{1}{6,765} \right) = 76,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Kde t_{sp} teplota spalin
 q teplo sdělené stěnou ze vzorce číslo (60)
 $\alpha_{sp,celk}$ přestup tepla na straně vody ze vzorce číslo (52)

Výpočet poklesu teplot spalin v závislosti na výkonu výměníku

$$\Delta t = \frac{Q_{v,celk}}{\dot{V}_{sp,s} \cdot C_{psp}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (62)$$

$$\Delta t = \frac{1,919}{0,058 \cdot 1,362} = 24,3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$t_{2sp} = t_{1sp} - \Delta t \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (63)$$

$$t_{2sp} = 380 - 24,3 = 355,7 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Kde $Q_{v,celk}$ výkon výměníku celkový ze vzorce číslo (59)
 $\dot{V}_{sp,s}$ skutečný objem spalin ze vzorce číslo (29)
 C_{psp} měrná tepelná kapacita paliva ze vzorce číslo (21)

Kontrolní výpočet výkonu spalín

$$Q_{spalin} = \dot{V}_{sp,s} \cdot C_{psp} \cdot \Delta t_{spalin} \quad [\text{kW}] \quad (64)$$

$$Q_{spalin} = 0,058 \cdot 1,362 \cdot 24,3 = 1,920 \text{ kW}$$

$$Q_{spalin} = Q_{v,celk}$$

Kde	$\dot{V}_{sp,s}$	skutečný objem spalín ze vzorce číslo (29)
	C_{psp}	měrná tepelná kapacita paliva ze vzorce číslo (21)
	Δt_{spalin}	pokles teploty spalín ze vzorce číslo (62)

Závěr

Spalinový výměník, který jsem navrhl. Má výkon 1,919 kW. A v praktickém provozu se předpokládá, že bude mít různé výkony v závislosti na použitém palivu ve zdroji a také na okolním prostředí, ve kterém bude fungovat.

Mnou navržený výměník má dostatečně velký výkon použitelný pro ohřev vody bude použita na vytápění nějaké části obytného prostoru domu, v závislosti na jejich tepelné ztrátě.

Konstrukční řešení výměníku je typu spaliny – voda. A je konstrukčně velice jednoduché a použitelné i v domácím prostředí pro vytápění, tak aby byla zajištěna tepelná pohoda člověka v prostředí, kde se pohybuje a žije.

Při zpracování této práce jsem poznal, jak výměník funguje a jejího požití v praxi pro vytápění. A doufám že, moje práce přinese použitelné znalosti i čtenářům této práce.

Seznam použité zdrojů

Bibliografie

- [1]. **Aleš, Rubin a Olga, Rubínová.** TZB-info. *Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka*. [Online] 22. 8. 2005. <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>.
- [2]. **Koloničný, Jiří, Petraňková, Silvie a Horák, Jiří.** *Technologie krbových kamen a krbových*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická, 2010. 978-80-248-2254-9.
- [3]. -. Rolf antikor. *Rolf antikor*. [Online] [Citace: 1. Leden 2014.] <http://www.rolf.cz/produkt.aspx?id=1474>.
- [4]. **Dakon.** Návod k montáži, obsluze a údržbě. www.dakon.cz. [Online] 5. 2009. http://www.dakon.cz/user_data/cms/soubory/00092/DOR-Kompletni-navod.pdf.
- [5]. **ABX.** <http://www.abx.cz/>. *abx*. [Online] <http://www.abx.cz/files/cs/krbova-kamna-s-teplovodnim-vymenikem-vseobecny-navod-k-obsluze-montazi-a-udrzbe-c-1.pdf>.
- [6]. **Noskievič, Pavel a Pilch, Radek.** *Spalování dřeva v malém ohništi*. Suchdol nad Odrou : Romotop, 2008. ISBN 978-80-248-1889-4.
- [7]. Přejímací zkoušky parních kotlů. Praha : Český normalizační institut, 1996. ČSN 070302.
- [8]. **Zdeněk, Kadlec.** *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. ISBN 978-80-7385-061-6.
- [9]. **Příhoda, Miroslav a Rédr, Miroslav.** *Sdílení tepla a proudění*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1998. 80-7075-549-7.
- [10]. **Kadrnožka, Jaroslav a Ochrana, Ladislav.** *Teplárenství*. Brno : Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o., 2001. 80-7204-222-X.
- [11]. **Černý, Václav.** *Spalovací zařízení a výměníky tepla*. Praha : České vysoké učení v Praze, 1988.
- [12]. **Kadlec, Zdeněk.** *Termomechanika*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2001.
- [13]. **Tomáš, Dlouhý.** *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*. Praha : Česká technika, nakladatelství ČVUT, 1999. 978-80-01-03757-7.

- [14]. **Blahož, V a Kadlec, Zdeněk.** *Základy sdílení tepla.* Ostrava : Cicero, 1996. 80-900201-1-7.
- [15]. Krby a kamna. [Online] 2010. <http://www.krbari-kamnari.cz/kamna/krbova-kamna/s-vymenikem/teplovodni.php>.
- [16]. Grundfos. *Rychlost proudění.* [Online] http://cbs.grundfos.com/GCZ_Czech_Republic/lexica/HEA_Flow_velocity.html?action=Print.
- [17]. Levné energie. *Ventilační jednotka s rekuperací tepla.* [Online] <http://jaromir-bednar.webnode.cz/vzduch-voda/lwz-303-403-sol/>.
- [18]. Wikipedia. [Online] 2. Listopad 2006. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Medieval_kitchen.PNG.
- [19]. Wikipedia. [Online] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/Kamado4816.jpg>.
- [20]. Ballbrno. *Komínové výměníky.* [Online] Rhspody. <http://www.ballbrno.cz/spalinovy-kominovy-vymenik>.
- [21]. Krbová kamna.com. *EDILKAMIN KLIMA CS s výměníkem, vychlazovací smyčkou a pískou-mastek.* [Online] <http://www.krbova-kamna.com/edilkamin-klima-cs-s-vymenikem-vychlazovaci-smyckou-a-pickou-mastek-p.html>.
- [22]. Kratki .pl. *ekologicke ventilator krb Ekowent.* [Online] http://www.kratki.pl/pl/produkt/ekologiczny-wentylator-kominkowy-ekowent_ekowent2#.

Poděkování

Na konec bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňku Kadlecovi, Ph.D. za pomoc, za cenné rady a připomínky, které mi pomohli dopracovat se ke zdárnému závěru. A taky za neskonalou podporu mých rodičů při studiu.

Seznam obrázků

Obrázek číslo: 2.1 otopná soustava [15].....	9
Obrázek číslo: 2.2 Rozdělení proudění podle Reynoldsova čísla [16]	11
Obrázek číslo: 2.3 Topení rekuperací [17]	13
Obrázek číslo: 3.1 Archeologické vykopávky ohniště [18]	14
Obrázek číslo: 3.2 Kamna Kamodo [19]	15
Obrázek číslo: 4.1 Spalinový výměník [3]	17
Obrázek číslo: 5.1 Spalinový výměník vně kouřovodu [20]	19
Obrázek číslo: 5.2 Spalinový výměník uvnitř kouřovodu [20]	19
Obrázek číslo: 5.3 Výměník v tělese kamen [21]	20
Obrázek číslo: 5.4 Instalace spalinového výměníku [3]	21
Obrázek číslo: 5.5 Schéma zapojení výměníku do uzavřeného okruhu [5]	23
Obrázek číslo: 6.1 Ventilátor Ekowent [22]	24
Obrázek číslo: 6.2 Turbofan [22]	25
Obrázek číslo: 9.1 3D návrh výměníku	35
Obrázek číslo: 9.2 rozměry výměníku.....	35
Obrázek číslo: 9.3 Základní rozměry	35
Obrázek číslo: 9.4 základní rozměry výměníku	36
Obrázek číslo: 10.1 souproudý výměník [11]	53
Obrázek číslo: 10.2 prostup tepla stěnou [14].....	56

Seznam příloh

1. Fyzikální vlastnosti spalin při tlaku 0,1Mpa
2. Fyzikální vlastnosti nasycené vody a nasycené vodní páry
3. Hustota a tepelná vodivost kovů a slitin
4. Měrná tepelná kapacita vybraných pevných látek při teplotě 0°C
5. Měrná tepelná kapacita vzduchu
6. Měrná tepelná kapacita plynů za stálého tlaku
7. Diagram pro určení emisivity oxidu uhličitého a vodní páry
8. Diagram korekčního součinitele β
9. Výkres výměníku

1. Fyzikální vlastnosti spalin při tlaku 0,1Mpa

t °C	ρ kg.m ⁻³	c_p kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹	$\lambda.10^2$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$a.10^6$ m ² .s ⁻¹	$\eta.10^6$ Pa.s	$\nu.10^6$ m ² .s ⁻¹	Pr
0	1,295	1,042	2,28	16,9	15,8	12,20	0,72
100	0,950	1,068	3,13	30,8	20,4	21,54	0,69
200	0,748	1,097	4,01	48,9	24,5	32,80	0,67
300	0,617	1,122	4,84	69,9	28,2	45,81	0,65
400	0,525	1,151	5,70	94,3	31,7	60,38	0,64
500	0,457	1,185	6,56	121,1	34,8	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	150,9	37,9	93,61	0,62
700	0,363	1,239	8,27	183,8	40,7	112,10	0,61
800	0,330	1,264	9,15	219,7	43,4	131,80	0,60
900	0,301	1,290	10,00	258,0	45,9	152,50	0,59
1000	0,275	1,306	10,90	303,4	48,4	174,30	0,58
1100	0,257	1,323	11,75	345,5	50,7	197,10	0,57
1200	0,240	1,340	12,62	392,4	53,0	221,00	0,56

2. Fyzikální vlastnosti nasycené vody a nasycené vodní páry

t °C	c_p (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)		$\lambda.10^2$ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)		$\eta.10^6$ (Pa.s)		Pr (-)	
	voda	pára	voda	pára	voda	pára	voda	pára
0	4,222		55,1		1788		13,67	
20	4,183		59,9		1004		7,02	
40	4,174		63,5		653,3		4,31	
60	4,179		65,9		469,9		2,98	
80	4,195		67,4		355,1		2,21	
100	4,22	2,135	68,3	2,37	282,5	11,97	1,75	1,08
120	4,25	2,206	68,6	2,59	237,4	12,85	1,47	1,09
140	4,287	2,315	68,5	2,79	201,1	13,54	1,26	1,12
160	4,346	2,479	68,3	3,01	173,6	14,32	1,1	1,18
180	4,417	2,709	67,4	3,27	153	15,11	1	1,25
200	4,505	3,023	66,3	3,55	136,4	15,99	0,93	1,36
220	4,614	3,408	64,5	3,9	124,6	16,87	0,89	1,47
240	4,756	3,881	62,8	4,29	114,8	17,76	0,87	1,61
260	4,949	4,486	60,5	4,8	105,9	18,84	0,87	1,75
280	5,23	5,234	57,4	5,49	98,1	19,91	0,9	1,9
300	5,736	6,28	54	6,27	91,2	21,29	0,97	2,13
320	6,574	8,206	50,6	7,51	85,3	22,86	1,11	2,5
340	8,165	12,85	45,7	9,3	77,5	25,21	1,39	3,35
360	13,984	23,03	39,5	12,79	66,7	29,14	2,35	5,23

3. Hustota a tepelná vodivost kovů a slitin

slitiny a kovy neželezné	t °C	ρ kg.m ⁻³	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	oceli a litina	t °C	ρ kg.m ⁻³	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹
bronz Cu, 1Sn	0	8900	63,7	konstrukční uhlíková ocel 0,1 C	0	7860	59,5
Cu, 10Sn	20	8770	41,9		500		40,2
Cu, 25Sn	20	≈8900	25,6		1100		28,5
Cu,9Al,3Fe	0	7500	32,1	0,35C	0	7860	47,9
	300		45,9		500		40,6
	700		54,6		1100		29,5
cín	0	7300	64	uhlíková ocel na odlitky 0,1-0,2C	0	7840	41,9
	200		57		300		40,6
hliník	0	2720	218		700		38,1
	300		230	0,5-0,6C	0	7840	43,8
hliníkové slitiny					300		41,9
Al,8Mg	0	-	95		700		39,0
	300		138	ušlechtilá konstr.ocel mangan. 1,2-1,6Mn	0	7850	46,2
Al,12Si	0	2650	158		500		37,2
	300		176		1100		28,6
Al,4Cu,1Mg (dural)	0	2800	159	chromová 0,8-1,1Cr	0	7850	36,5
	300		203		500		32,8
hořčík	0	1740	160		1100		23,3
	300		136	chromvanadová	0	7850	25,9
	600		131	1,2-1,5Cr 0,45-0,6V	500		32,5
měď	0	8060	385		1100		22,8
	400		364	nerez oceli			
	800		343	chromová	0	7670	21,2
mosaz	0	8790	102	martenzitická 13Cr	500		23,6
Cu,10Zn	300		149		1100		25,0
	600		195	chromniklová	0	7800	12,6
mosaz	0	8400	106	austenit. 18Cr,10,5Ni	500		21,4
Cu,40Zn	300		152		1100		29,2
	600		200	litina šedá	20	7310	49,4
mosaz Cu,40Ni (konstantan)	0	8800	22,2	2,9-3,1C, 1,35-1,6Si	300		41,9
	100		25,6	0,9+1Mn	500		36,4
olovo	0	11340	29	litina			
	300		34,4	žárovzdorná	20	6680	33,9
stříbro (99,9 %)	0	10500	411	hliníko-chromová	300		31,0
	300		362	6-8Al, 2-3Cr	700		27,2
zinek	0	7130	113				
	300		100				

4. Měrná tepelná kapacita vybraných pevných látek při teplotě 0°C

látko	t °C	C kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹	látko	t °C	C kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹
asfalt	20	0,92	pískovec	20	0,71
azbest	20	0,8	porcelán	20	0,8
beton	20	0,88		100	1,3
beton pórovitý	20	0,8	sádra	20	1,09
dřevo-borovice, jedle, smrk	20	2,72	sklo - jenské	20	0,78
- dub	20	2,39	- křemenné	20	0,73
guma	20	1,42	- obyčejné	20	0,77
hlína	20	0,88	sníh	-40	1,81*
heraklit	20	1,67	struska vysokopeční	20	0,84
kamenina	20	0,8		1000	1,17
koks (10 % popele)	100	0,81*	uhlí - dřevěné	20	0,84
	600	1,29*	- hnědé 12% vody	100	1,51*
	1200	1,52*	- hnědé 48% vody	100	2,59*
korek přírodní	20	1,88	- kamenné	100	1,0 + 1,1*
kotelní kámen	300	0,84	umělé hmoty- bakelit	20	1,59
křemen	20	0,75	- PE rozvětvený	20	2,3
led	-20	2,14*	- polypropylén	20	1,8
lepenka, papír	20	1,34	- PVC čistý	20	1,36
mramor	20	0,8	- polystyrén	20	1,26
omítka	20	0,84	zdivo červené	20	1,05
popel	100	0,81*	zem štěrkovitá	20	1,88
	1000	0,98*	žula	20	0,75

* střední měrné tepelné kapacity v teplotním intervalu 0 - t °C

5. Měrná tepelná kapacita vzduchu

t °C	C _p kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _{p0} kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _p kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹	C _v kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹	C _{p0} kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹	C _{v0} kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹
0	1,297	1,297	1,004	0,716	1,004	0,716
100	1,306	1,300	1,010	0,723	1,006	0,719
200	1,324	1,307	1,025	0,737	1,012	0,724
300	1,350	1,317	1,045	0,758	1,019	0,732
400	1,381	1,329	1,069	0,781	1,028	0,741
500	1,412	1,343	1,092	0,805	1,039	0,752
600	1,441	1,357	1,115	0,828	1,050	0,762
700	1,468	1,371	1,136	0,849	1,061	0,773
800	1,492	1,384	1,154	0,867	1,071	0,784
900	1,513	1,398	1,170	0,883	1,081	0,794
1000	1,531	1,410	1,184	0,898	1,091	0,804
1100	1,547	1,421	1,197	0,910	1,100	0,813
1200	1,562	1,433	1,208	0,921	1,108	0,821
1300	1,574	1,443	1,218	0,931	1,117	0,829
1400	1,586	1,453	1,227	0,940	1,124	0,837
1500	1,596	1,462	1,235	0,948	1,131	0,844
1600	1,605	1,471	1,242	0,955	1,138	0,851
1700	1,614	1,479	1,249	0,961	1,144	0,857
1800	1,622	1,487	1,254	0,968	1,150	0,863
1900	1,629	1,494	1,260	0,973	1,156	0,869
2000	1,635	1,501	1,265	0,979	1,161	0,874
2100	1,642	1,507	1,270	0,983	1,166	0,879
2200	1,648	1,514	1,275	0,988	1,171	0,884
2300	1,653	1,519	1,279	0,992	1,176	0,889
2400	1,658	1,525	1,283	0,996	1,180	0,893
2500	1,663	1,530	1,287	1,000	1,184	0,897
2600			1,293	1,006		
2700			1,295	1,008		
2800			1,298	1,011		
2900			1,301	1,014		
3000	1,683		1,302	1,034		

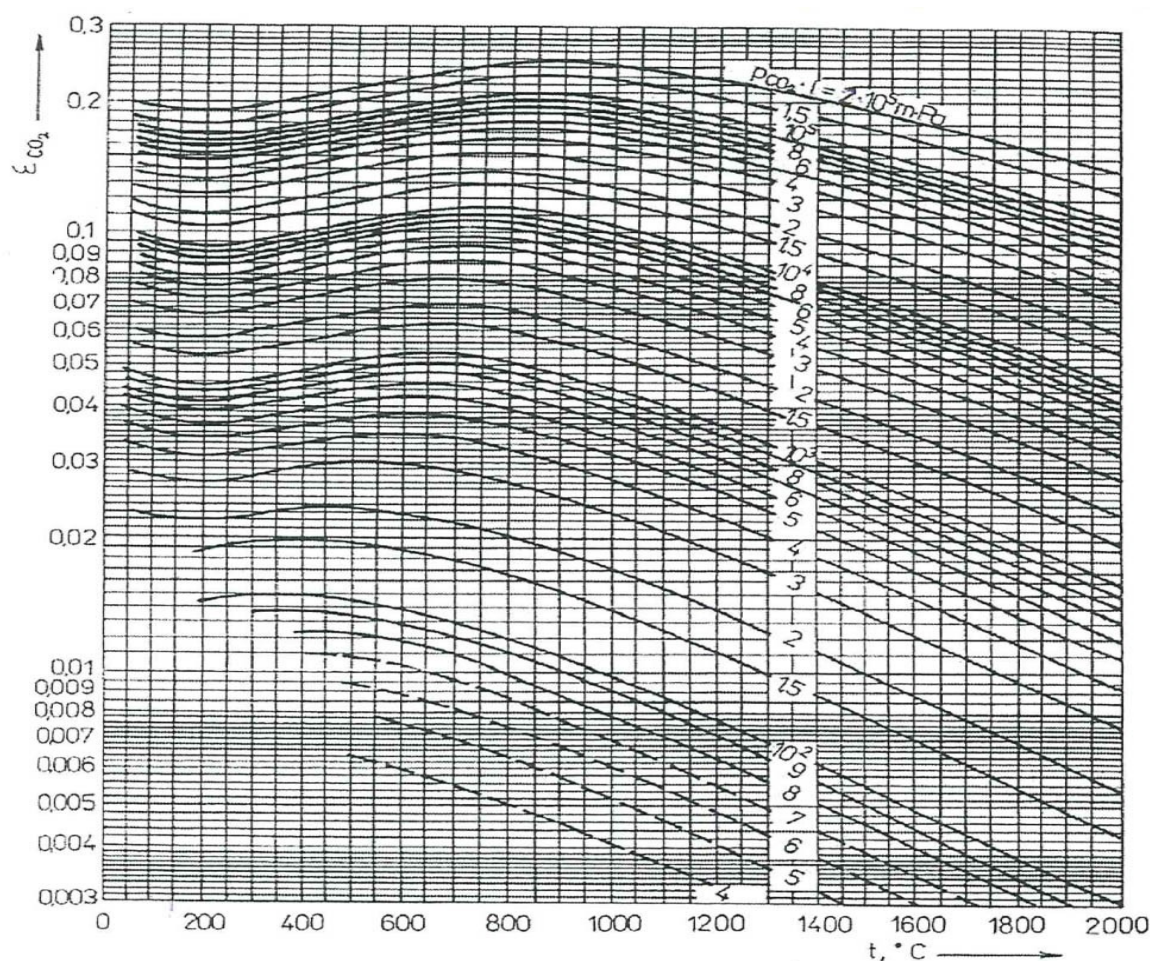
* od teploty 2600 °C vypočteno pomocí vztahu $c_v = c_p - r$, $r = 0,287 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

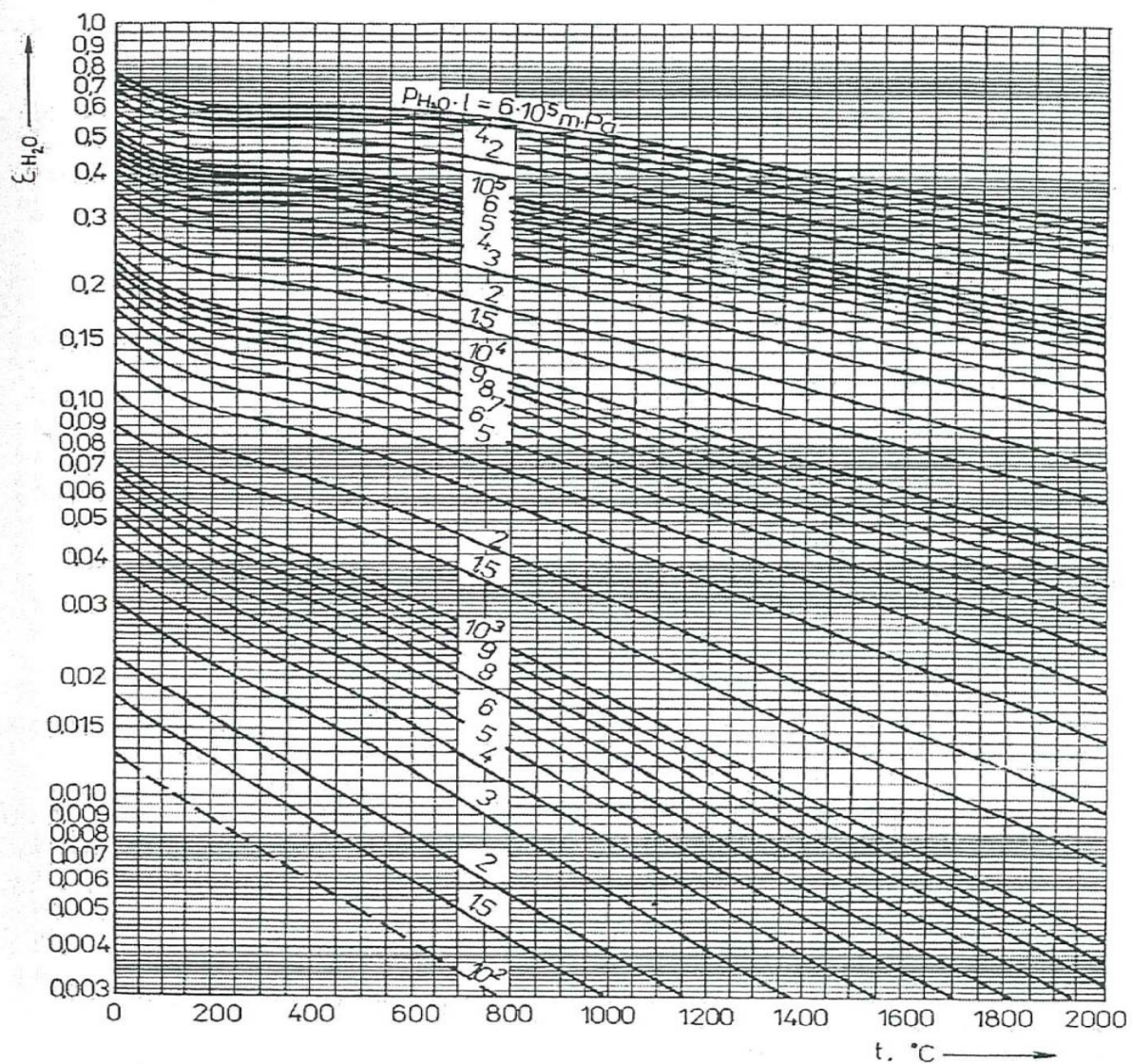
6. Měrná tepelná kapacita plynů za stálého tlaku

Plyn	O ₂		N ₂		H ₂		CO		CO ₂		H ₂ O		SO ₂	
t °C	C _p kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _{po} ^t kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _p kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _{po} ^t kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _p kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _{po} ^t kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _p kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _{po} ^t kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _p kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _{po} ^t kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _p kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _{po} ^t kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _p kJ.m ⁻³ .K ⁻¹	C _{po} ^t kJ.m ⁻³ .K ⁻¹
0	1,306	1,306	1,299	1,299	1,277	1,277	1,299	1,299	1,600	1,600	1,494	1,494	1,733	1,733
100	1,333	1,318	1,303	1,300	1,300	1,291	1,305	1,302	1,794	1,700	1,519	1,505	1,892	1,813
200	1,375	1,335	1,315	1,304	1,305	1,297	1,323	1,307	1,949	1,787	1,560	1,522	2,031	1,888
300	1,420	1,356	1,336	1,311	1,307	1,299	1,350	1,317	2,075	1,863	1,608	1,542	2,152	1,955
400	1,462	1,377	1,364	1,321	1,311	1,302	1,382	1,329	2,180	1,930	1,659	1,565	2,24	2,018
500	1,497	1,398	1,394	1,332	1,319	1,305	1,415	1,343	2,267	1,989	1,713	1,590	2,307	2,068
600	1,526	1,417	1,424	1,345	1,329	1,308	1,446	1,357	2,340	2,041	1,769	1,615	2,357	2,114
700	1,550	1,434	1,452	1,359	1,343	1,312	1,473	1,372	2,402	2,088	1,827	1,641	2,399	2,152
800	1,571	1,450	1,477	1,372	1,360	1,317	1,498	1,386	2,453	2,131	1,885	1,668	2,428	2,181
900	1,588	1,465	1,499	1,385	1,377	1,323	1,519	1,400	2,496	2,169	1,941	1,696	2,453	2,215
1000	1,602	1,478	1,519	1,397	1,396	1,329	1,538	1,413	2,533	2,204	1,995	1,723	2,474	2,236
1100	1,616	1,489	1,536	1,409	1,415	1,336	1,554	1,425	2,564	2,235	2,046	1,750	2,487	2,261
1200	1,628	1,501	1,551	1,420	1,434	1,343	1,568	1,436	2,591	2,264	2,093	1,777	2,5	2,278
1300	1,640	1,511	1,564	1,431	1,454	1,351	1,580	1,447	2,614	2,290	2,137	1,803		
1400	1,650	1,520	1,576	1,441	1,472	1,359	1,590	1,457	2,634	2,314	2,177	1,828		
1500	1,661	1,529	1,586	1,450	1,490	1,367	1,600	1,466	2,651	2,335	2,214	1,853	2,533	2,313
1600	1,672	1,538	1,595	1,459	1,506	1,375	1,608	1,475	2,665	2,355	2,249	1,876		
1700	1,683	1,546	1,603	1,467	1,522	1,383	1,615	1,483	2,678	2,374	2,281	1,900		
1800	1,693	1,554	1,610	1,475	1,537	1,392	1,620	1,490	2,689	2,392	2,310	1,921		
1900	1,703	1,562	1,617	1,482	1,551	1,400	1,627	1,497	2,698	2,407	2,337	1,942		
2000	1,713	1,569	1,622	1,489	1,564	1,408	1,633	1,504	2,706	2,422	2,361	1,963	2,554	2,384
2100	1,724	1,576	1,628	1,496	1,576	1,415	1,638	1,510	2,713	2,436	2,384	1,982		
2200	1,734	1,583	1,632	1,502	1,589	1,423	1,642	1,516	2,718	2,448	2,406	2,001		
2300	1,743	1,590	1,637	1,507	1,599	1,430	1,646	1,521	2,722	2,460	2,425	2,019		
2400	1,757	1,596	1,641	1,513	1,610	1,437	1,650	1,527	2,724	2,471	2,444	2,036		
2500	1,762	1,603	1,645	1,518	1,620	1,445	1,653	1,532	2,725	2,481	2,461	2,053	2,571	2,467
2600	1,771	1,609			1,630	1,452					2,477	2,069		
2700	1,781	1,615			1,639	1,458					2,492	2,085		
2800											2,507	2,100		
2900											2,520	2,113		
3000	1,796		1,662		1,666		1,666	1,555	2,738	2,523	2,520		2,579	2,447

* od teploty 2600 °C vypočteno pomocí vztahu $c_p - r, r = 0,287 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

7. Diagram pro určení emisivity oxidu uhličitého a vodní páry





8. Diagram korekčního součinitele β

